

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 GONZÁLES SUÁREZ - IMBABURA**

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

AUTOR:

Lenin Leonardo Cevallos Zurita

DIRECTORA:

Lic. Ima Sumac Sánchez de Céspedes, MSc.

Ibarra, 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

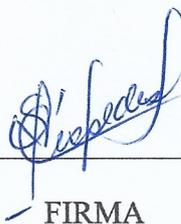
EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE HONGOS PRESENTES EN SUELOS DE AGROECOSISTEMAS DE LA PARROQUIA GONZÁLES SUÁREZ - IMBABURA

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

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADO:

Lic. Ima Sumac Sánchez de Céspedes, MSc. _____



DIRECTORA

FIRMA

Ing. Julia Karina Prado Beltrán, PhD. _____



ASESORA

FIRMA



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:	1003519624		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cevallos Zurita Lenin Leonardo		
DIRECCIÓN:	Mira, San Antonio		
EMAIL:	llcevallosz@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	N/A	TELÉFONO MÓVIL:	0963634905

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Evaluación de la diversidad de hongos presentes en suelos de agroecosistemas de la parroquia Gonzáles Suárez - Imbabura
AUTOR:	Cevallos Zurita Lenin Leonardo
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	25/06/2025
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agropecuario
ASESOR /DIRECTOR:	Lic. Ima Sumac Sánchez de Céspedes, 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 25 días del mes de junio de 2025

El AUTOR:

Lenin Leonardo Cevallos Zurita

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Lenin Leonardo Cevallos Zurita, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 25 días del mes de junio de 2025

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ima Sumac Sánchez de Céspedes', written over a horizontal line.

Lic. Ima Sumac Sánchez de Céspedes, MSc.

DIRECTORA DE TESIS

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 25 días del mes de junio del 2025

Lenin Leonardo Cevallos Zurita: EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE HONGOS PRESENTES EN SUELOS DE AGROECOSISTEMAS DE LA PARROQUIA GONZÁLES SUÁREZ - IMBABURA/ Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

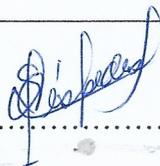
Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 25 días del mes de junio del 2025, 80 páginas.

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

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar la diversidad de hongos presentes en suelos de agroecosistemas de la Parroquia González Suárez - Imbabura

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Caracterizar morfológicamente la diversidad fúngica presente en los suelos del sitio en estudio.
- Determinar los índices de diversidad fúngica en los diferentes agroecosistemas de estudio.
- 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



.....
Lenin Leonardo Cevallos Zurita

Autor

AGRADECIMIENTO

A lo largo de este proceso académico, he contado con el respaldo de personas que hicieron posible la culminación de este trabajo de titulación.

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, por ser el espacio donde adquirí conocimientos, experiencias y valores fundamentales para mi formación profesional. Su aporte ha sido decisivo en este camino.

Mi gratitud también está dirigida a mi tutora de tesis, Lic. Ima Sánchez, MSc. por su orientación precisa, su compromiso y su disposición constante para acompañar cada etapa de esta investigación. Su apoyo ha sido clave para mantener el enfoque y la calidad del trabajo realizado. Además, quiero reconocer la buena gestión del Ing. Santiago Zarate para permitirme realizar las actividades de mi fase de campo.

A mi familia, que ha sido el pilar más firme en este proceso: gracias por su paciencia, comprensión y por animarme a seguir adelante incluso en los momentos más complejos. Su apoyo ha sido incondicional y esencial para llegar hasta aquí.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a este logro. Cada palabra de aliento y cada gesto de apoyo han sido parte importante de este resultado.

DEDICATORIA

Gracias a Dios por iluminar mi camino en cada etapa de esta travesía, fortalecerme en los momentos de incertidumbre y enseñarme que todo tiene su tiempo.

A mi madre Lucia Cevallos, por ser mi fuerza en los días difíciles, mi consuelo en los momentos de duda y el ejemplo más grande de amor, entrega y valentía. Este logro también es tuyo, porque con tus palabras y tu fe en mí me impulsaste a no rendirme.

A mi novia Maoly Méndez, por caminar a mi lado con paciencia, por brindarme su apoyo incondicional y por recordarme que los sueños se construyen con esfuerzo y amor. Gracias por ser mi compañera en esta etapa tan importante.

A mi familia Cevallos Zurita por estar presente con cada gesto, consejo y muestra de cariño. Su presencia ha sido mi refugio, mi inspiración y la base de todo lo que he logrado.

Con todo mi corazón, este trabajo está dedicado a ustedes.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I	16
INTRODUCCIÓN	16
1.1. Antecedentes	16
1.2. Problema	17
1.3. Justificación	18
1.4. Objetivos	19
1.4.1 Objetivo general.....	19
1.4.2 Objetivos específicos	19
1.5. Preguntas directrices	19
CAPÍTULO II.....	20
MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Definición e importancia de agroecosistemas.....	20
2.1.1 Agroecosistema agroecológico	20
2.1.2 Agroecosistema convencional	21
2.1.3 Ecosistema natural	22

2.2. Hongos	23
2.2.1 Clasificación de los hongos según su taxonomía.....	23
2.2.2 Importancia de los hongos del suelo	23
2.2.3 Función de los hongos en el suelo	23
2.3. Agrupación de los hongos de acuerdo como obtiene su energía	24
2.3.1 Hongos descomponedores	24
2.3.2 Hongos mutualistas.....	24
2.3.3 Hongos patógenos o parásitos.....	24
2.4. Hongos filamentosos.....	25
2.4.1 Crecimiento de hongos filamentosos	25
2.5. Importancia de la biodiversidad fúngica en sistemas de producción agrícola.....	25
2.6. Condiciones de crecimiento de los hongos.....	26
2.6.1 Medios de cultivos	26
2.6.1.1. Agar Dextrosa Sabouraud con Cloranfenicol.	26
2.6.2 Temperatura	26
2.7. Marco legal	27
CAPÍTULO III	28
MARCO METODOLÓGICO.....	28
3.1. Descripción del área de estudio	28
3.2. Materiales.....	28
3.3. Métodos.....	29
3.3.1 Población y muestra.....	30
3.3.1.1. San Francisco de Cajas.	30
3.3.2 Unidad muestral	30

3.4. Variables a evaluarse	31
3.4.1 Crecimiento de la colonia	31
3.4.2 Forma de la colonia.....	31
3.4.3 Color de la colonia	31
3.4.4 Margen de la colonia.....	32
3.4.5 Superficie de la colonia.....	32
3.4.6 Textura de la colonia.....	32
3.4.7 Índice de diversidad	32
3.4.7.1. Riqueza de especies.	33
3.4.7.2. Índice de Similitud de Jaccard.	33
3.4.8 Funciones ecológicas de los hongos	33
3.5. Manejo específico del experimento	34
3.5.1 Identificación y selección de agroecosistemas	34
3.5.2 Elaboración de medio de cultivo.....	34
3.5.2.1. Elaboración de medio de cultivo semisólido Agar Dextrosa Sabouraud.....	34
3.5.2.2. Muestreo.	35
3.5.3 Identificación de muestras	35
3.5.4 Traslado de muestras.....	35
3.5.5 Aislamiento de hongos.....	36
3.5.6 Siembra directa de suelo en medio de cultivo	36
3.5.7 Purificación de hongos.....	36
3.5.8 Identificación de hongos	36
3.5.9 Metodología 2 trampas microbianas	37

3.5.10 Metodología 3 diluciones seriadas.....	38
3.5.11 Identificación de características morfológicas de los hongos.....	39
CAPÍTULO IV	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1. Características de las áreas de estudio	40
4.2. Número de hongos en los diferentes agroecosistemas y metodologías	42
4.3. Características morfológicas.....	42
4.4. Velocidad de crecimiento radial de los hongos	56
4.5. Índice de biodiversidad fúngica (índice de riqueza)	63
4.6. Índice de similitud Jaccard.....	65
4.6.1 Convencional vs Agroecológico	65
4.6.2 Convencional vs Natural.....	66
4.6.3 Agroecológico vs Natural	66
4.7. Funciones ecológicas de los géneros de hongos aislados mediante las metodologías de estudios en sus agroecosistemas agroecológico, convencional y natural	67
CAPITULO V	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
5.1. Conclusiones.....	68
5.2. Recomendaciones	68
REFERENCIAS.....	69
ANEXOS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Agroecosistema agroecológico de la comunidad San Francisco de Cajas	20
Figura 2	Agroecosistema convencional de la comunidad San Francisco de Cajas provincia de Imbabura	21
Figura 3	Ecosistema natural de la comunidad San Francisco de Cajas de Imbabura	22
Figura 4	Ubicación de la parroquia de San Francisco de Cajas en la provincia de Imbabura ...	28
Figura 5	Sistema de muestreo en Zig-Zag en los agroecosistemas en estudio	30
Figura 6	Escala de color para observar el anverso y reverso de la colonia.....	31
Figura 7	Agroecosistemas evaluados de San Francisco de Cajas	34
Figura 8	Sistema de muestreo en Zig-Zag	35
Figura 9	Colocación de muestra de suelo en medio de cultivo.....	37
Figura 10	Instalación de la trampa microbiana en campo	38
Figura 11	Preparación de diluciones seriadas	39
Figura 12	Agroecosistema convencional de San Francisco de Cajas	40
Figura 13	Agroecosistema agroecológico de San Francisco de Cajas.....	41
Figura 14	Ecosistema natural de San Francisco de Cajas	41
Figura 15	Características macroscópicas y microscópicas de Absidia sp. obtenido en el agroecosistema agroecológico	43
Figura 16	Características macroscópicas y microscópicas de cepas del género Fusarium obtenidos en el agroecosistema agroecológico	44
Figura 17	Características macroscópicas y microscópicas del hongo Geotrichum sp. obtenido en el agroecosistema agroecológico	45
Figura 18	Características macroscópicas y microscópicas de Aspergillus sp. Obtenido en el agroecosistema agroecológico	45

Figura 19 Características macroscópicas y microscópicas del hongo <i>Mucor</i> sp. obtenido en el agroecosistema agroecológico	46
Figura 20 Características macroscópicas y microscópicas de la cepa <i>Scopulariopsis</i> sp. obtenida en el agroecosistema agroecológico.....	47
Figura 21 Morfología macroscópica y microscópica de los hongos del género <i>Rhizopus</i> aislado en el agroecosistema agroecológico.....	48
Figura 22 Características morfológicas y microscópicas de los hongos del género <i>Penicillium</i> aisladas en el agroecosistema convencional	49
Figura 23 Morfología macroscópica y microscópica de <i>Absidia</i> spp. aislada en agroecosistema convencional	50
Figura 24 Características macroscópicas y microscópicas de cepas del género <i>Rhizopus</i> obtenidos en el agroecosistema convencional	51
Figura 25 Características macroscópicas y microscópicas del hongo <i>Cladobotryum</i> sp. aislado en el sistema natural.....	52
Figura 26 Características macroscópicas y microscópicas de cepas del género <i>Rhizopus</i> aislado en el sistema natural.....	53
Figura 27 Características macroscópicas y microscópicas de cepas del género <i>Aspergillus</i> obtenidos en el sistema natural	54
Figura 28 Características macroscópicas y macroscópicas del hongo <i>Penicillium</i> sp. obtenido en el sistema natural.....	55
Figura 29 Características macroscópicas y macroscópicas de cepas del género <i>Fusarium</i> aislado en el sistema natural.....	56
Figura 30 Crecimiento del micelio de los hongos aislados por siembra directa, de los agroecosistemas de Gonzáles Suárez.....	57
Figura 31 Crecimiento del micelio de los hongos aislados por trampas microbianas en el agroecosistema convencional.....	58

Figura 32 Crecimiento del micelio de los hongos aislados por trampas microbianas en el agroecosistema agroecológico	59
Figura 33 Crecimiento del micelio de los hongos aislados por trampas microbianas en el agroecosistema natural.....	60
Figura 34 Crecimiento del micelio de los hongos aislados por diluciones seriadas en el agroecosistema convencional.....	61
Figura 35 Crecimiento del micelio de los hongos aislados por diluciones seriadas en el agroecosistema agroecológico	62
Figura 36 Crecimiento del micelio de los hongos aislados por diluciones seriadas en el agroecosistema natural.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Materiales, equipos e insumos utilizados en el trabajo de aislamiento de hongos de suelo	29
Tabla 2	Metodologías planteadas en la investigación	30
Tabla 3	Número de hongos presentes en los agroecosistemas evaluados	42
Tabla 4	Posibles especies identificadas por agroecosistema	65
Tabla 5	Funciones ecológicas que cumplen los géneros encontrados en la investigación	67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Ficha de datos para la toma de muestra de suelo.....	77
----------------	--	----

EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE HONGOS PRESENTES EN SUELOS DE AGROECOSISTEMAS DE LA PARROQUIA GONZÁLES SUÁREZ - IMBABURA

Lenin Leonardo Cevallos Zurita:

Universidad Técnica del Norte

llcevallosz@utn.edu.ec

RESUMEN

La identificación de hongos de suelo es importante dentro del estudio de la biodiversidad fúngica y en el manejo más sostenible en agroecosistemas. Sin embargo, existen pocas investigaciones que indiquen la manera factible de estudiarlos de acuerdo a sus componentes. El objetivo de este trabajo fue evaluar la diversidad de hongos en diferentes agroecosistemas: natural, convencional y agroecológico. Se utilizó un sistema de muestreo en Zig-Zag para recolectar muestras de suelo, en las cuales se aplicaron tres metodologías mt1 (siembra directa), mt2 (trampas microbianas con arroz) y Mt3 (diluciones seriadas). De acuerdo, a los resultados los géneros más representativos se encuentran *Rhizopus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Absidia* y *Mucor*, cada uno con particularidades morfológicas y ritmos de crecimiento diferenciados. *Rhizopus* evidenció crecimiento rápido, ocupando el diámetro de la placa en apenas dos días; *Penicillium* y *Aspergillus* mostraron crecimiento moderado, alcanzando 60 mm en un rango de 18 a 20 días. El análisis de los índices de riqueza y similitud de Jaccard reflejó mayor diversidad fúngica en el agroecosistema agroecológico, lo que sugiere una influencia positiva del manejo sostenible del suelo. Además, se reconocieron funciones ecológicas clave de los hongos, tales como la descomposición de materia orgánica, la absorción de nutrientes y su papel como bioindicadores de calidad edáfica. Se concluye que los agroecosistemas diversificados y menos intervenidos químicamente favorecen una mayor diversidad fúngica, lo cual es fundamental para mantener el equilibrio ecológico del suelo. La investigación demuestra el potencial de estas comunidades microbianas en el fortalecimiento de prácticas agrícolas sustentables.

Palabras clave: diámetro micelial, trampas microbianas, muestreo, características morfológicas.

EVALUATION OF THE DIVERSITY OF FUNGI PRESENT IN AGROECOSYSTEM SOILS OF THE PARISH OF GONZÁLES SUÁREZ – IMBABURA

Lenin Leonardo Cevallos Zurita:

Universidad Técnica del Norte

llcevallosz@utn.edu.ec

ABSTRACT

The identification of soil fungi is important in the study of fungal biodiversity and in the more sustainable management of agroecosystems. However, there is little research that indicates the feasible way to study them according to their components. The objective of this work was to evaluate fungal diversity in different agroecosystems: natural, conventional and agroecological. A Zig-Zag sampling system was used to collect soil samples, in which three methodologies were applied: mt1 (direct sowing), mt2 (microbial traps with rice) and mt3 (serial dilutions). According to the results, the most representative genera were *Rhizopus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Absidia* and *Mucor*, each with morphological peculiarities and differentiated growth rates. *Rhizopus* showed rapid growth, occupying the diameter of the plate in only two days; *Penicillium* and *Aspergillus* showed moderate growth, reaching 60 mm in a range of 18 to 20 days. Analysis of Jaccard's richness and similarity indices reflected greater fungal diversity in the agroecological agroecosystem, suggesting a positive influence of sustainable soil management. In addition, key ecological functions of fungi were recognized, such as organic matter decomposition, nutrient uptake and their role as bioindicators of soil quality. It is concluded that diversified and less intervened agroecosystems chemically favour greater fungal diversity, which is essential for maintaining the ecological balance of the soil. The research demonstrates the potential of these microbial communities in strengthening sustainable agricultural practices.

Keyword: mycelial diameter, microbial traps, sampling, morphological characteristics.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El suelo tiene microhábitats para microorganismos que intervienen en algunas actividades edáficas y son muy diversos ya que en un gramo del mismo existen 1 000 000 bacterias, 10 000 000 actinomicetos y 100 000 hongos (Alarcón et al., 2020). Principalmente, los hongos cumplen con funciones en el suelo como: mutualismo o patogenicidad con la comunidad microbiana de especies (Heredia, 2020). De esta manera, los investigadores se han enfocado en el estudio de las comunidades fúngicas para determinar morfológicamente sus características. De acuerdo con Cruz et al. (2019) la identificación de estos microorganismos en el hábitat permite conocer el rol biológico que cumple en el entorno (Esquer, 2020).

Villacís (2024) señala que Ecuador es un país megadiverso, lo que permite el estudio de los distintos organismos que lo habitan, entre ellos los hongos. En este contexto, se han llevado a cabo investigaciones como la de Ortiz (2016) en la que identificó hongos filamentosos en tres pisos altitudinales del bosque Aguarongo, ubicado en la provincia de Azuay. Para ello, utilizó un método de muestreo específico, logrando aislar 181 cepas pertenecientes a los géneros *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*. La distribución de las cepas fue la siguiente: 76 cepas de *Penicillium* (41.99 %), 86 cepas de *Aspergillus* (47.51 %), 8 cepas de *Trichoderma* (4.42%) y 7 cepas de *Fusarium* (3.87 %). Todos los aislamientos fueron conservados en el cepario de la Universidad Politécnica Salesiana bajo condiciones controladas.

Carreño y Quijije (2022) en su estudio realizado al suelo en tres estaciones del bosque la Prosperina, ubicado en Guayaquil a través de métodos moleculares encontraron 38 cepas de hongos filamentosos distribuidas de esta manera 16 en la estación de Cuevas, 16 en la estación Cañas y 14 en la estación ubicada en la Facultad de Ciencias de la Vida. Los géneros que identificaron fueron: *Mariannea*, *Gongronella*, *Clonostachys*, *Curvularia*, *Humicola*, *Talaromyces*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Thichoderma* y *Aspergillus* que pueden ser empleados para futuras investigaciones. Mientras que, Villacís (2024) caracterizó morfológica y molecularmente a los hongos del suelo en florícolas de la hacienda “El Prado”. En esta investigación se identificaron 27 cepas de hongos clasificadas en 14 géneros: *Flavocillium*,

Clonostachys, Mucor, Trichoderma, Niesslia, Irpex, Fusarium, Minimedusa, Clarireedia, Penicillium, Absidia, Epicoccum, Pseudopithomyces, Xylariales.

Pacasa et al. (2017) mencionaron que al caracterizar hongos de suelo de agroecosistemas de K'iphak'iphani en Bolivia con un muestreo estratificado en algunos tipos de suelo, tipo de vegetación y varios cultivos encontraron 44 especies, distribuidas en los siguientes géneros: *Penicillium* (8 especies), *Alternaria* (3 especies), *Rhizopus*, *Mucor* y *Trichoderma* (una especie cada uno), de los 29 faltantes no se logró la identificación. Además, en los suelos que no tuvieron intervención agrícola se presentó una mayor diversidad de hongos, pero sin abundancia al contrario de los suelos con cultivos que tuvieron más abundancia, pero no diversidad.

Por lo que se refiere al manejo de los agroecosistemas existe la opción de implementar una agricultura sostenible para ayudar a la actividad fúngica del suelo mediante la aplicación de materia orgánica y la disminución de fertilizantes químicos. Además, la actividad fúngica benéfica permite una mayor nutrición en las plantas que es controlada por características tanto físicas, químicas, edáficas y su comunidad microbiana (Anzueto & Álvarez, 2004).

1.2. Problema

En la actualidad, la biodiversidad de hongos se ve afectada por manejos agrícolas convencionales de suelo que conduce a la pérdida de su estructura y materia orgánica. El uso inadecuado de insumos químicos ha ocasionado drásticamente cambios en los componentes orgánicos y activos del suelo, equilibrio ecológico y en las actividades metabólicas de las diferentes poblaciones microbianas en los agroecosistemas (Chávez et al., 2020).

Según Chávez et al. (2020) la deforestación o la conversión de pastizales en cultivos puede afectar significativamente la salud del suelo, lo que lleva a la disminución de interacciones entre la comunidad edáfica y las plantas. Además, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015) menciona que la reducción de la cantidad y calidad de los residuos vegetales incorporados al suelo y el número de especies de plantas conducen a una limitación del suministro de hábitats y fuentes de alimento para los hongos del suelo.

Actualmente los agricultores utilizan tractores para labrar a profundidad sus suelos lo que ocasiona la reducción de la cantidad de hifas y sus agregados que las mantienen unidas (Chávez

et al., 2020). Por otro lado, González et al. (2024) determinan que la deficiencia de conocimiento de los agricultores acerca de los hongos del suelo, evita la utilización de aquellos para biorestauración de sus cultivos.

1.3. Justificación

La identificación de hongos de suelo es importante tanto para la evaluación de la biodiversidad como para ayudar a guiar las estrategias de manejo agroecológico. En consecuencia, la afectación de los cultivos por enfermedades fúngicas, ha hecho necesario el estudio. Adicionalmente, estos microorganismos se encuentran en varios agroecosistemas con una diferencia de diversidad de especies de acuerdo a factores ambientales y climáticos, sin embargo, muchos de los métodos existentes se desarrollaron con fines de investigación, y no necesariamente para orientar la gestión a escala de agroecosistemas, donde las decisiones tomadas afectarán directamente la producción y el bienestar de las familias campesinas (Cestonaro et al., 2020).

De acuerdo con Cestonaro et al. (2020) las comunidades fúngicas asociadas al suelo constituyen indicadores altamente sensibles de su calidad y de las alteraciones provocadas por las prácticas de uso de la tierra. En este sentido, las descripciones morfológicas y el análisis de la diversidad fúngica resultan fundamentales para la evaluación integral de la salud de los ecosistemas agrícolas. La adopción de prácticas sostenibles en los agroecosistemas, como la labranza cero y la rotación de cultivos, contribuye a mejorar la productividad agrícola sin comprometer los recursos hídricos ni degradar las propiedades del suelo. En el presente estudio se evaluó la diversidad de hongos presente en distintos sistemas agrícolas, identificando su potencial como organismos beneficiosos o como agentes patógenos. Además, permite a los agricultores buscar alternativas regenerativas en la agricultura, con el fin de favorecer la salud, alimentación y la equidad social de comunidades.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la diversidad de hongos presentes en suelos de agroecosistemas de la Parroquia Gonzáles Suárez - Imbabura

1.4.2 Objetivos específicos

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

1.5. Preguntas directrices

¿Existe diversidad fúngica en los suelos del sitio en estudio?

¿Cuáles son los índices de diversidad fúngica que expresa en los agroecosistemas?

¿Qué funciones ecológicas presentan los hongos en los agroecosistemas en estudio?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Definición e importancia de agroecosistemas

Los agroecosistemas agrícolas son sistemas creados por el hombre, cuya formación y mantenimiento están vinculados principalmente a las actividades humanas que han alterado la naturaleza para la alimentación. Por otro lado, los agroecosistemas con sus prácticas agroecológicas mejoran la fertilidad del suelo de acuerdo a la utilización de técnicas sustentables como asociación de cultivos, aplicación de abonos orgánicos, control biológico de las plagas y enfermedades (Bover & Suárez, 2020).

2.1.1 Agroecosistema agroecológico

Un agroecosistema agroecológico se enfoca en una producción basada en la aplicación de fundamentos de sustentabilidad, sostenibilidad, ecología e igualdad social. De igual manera, los sistemas agroecológicos favorecen la salud del suelo y detienen el impacto sobre los recursos naturales con técnicas como manejo de desechos orgánicos, utilización de semillas tradicionales, aplicación de abonos orgánicos, cultivos intercalados (Barchuk et al., 2020). En la Figura 1 se presenta el sistema agroecológico de la comunidad San Francisco de Cajas, el cual evidencia la integración entre cultivos, especies forestales y crianza de animales.

Figura 1

Agroecosistema agroecológico de la comunidad San Francisco de Cajas



2.1.2 Agroecosistema convencional

Un sistema agrícola convencional se enfoca en la producción y rendimiento de productos agrícolas a gran escala con la intervención de insumos químicos y maquinarias (Socarrás, 2013). Además, en el sistema convencional se ocupa extensas áreas de cultivo para sembrar la mayor parte un solo producto. También, existe la necesidad de la utilización de maquinarias pesadas para la labranza extensiva del suelo con ello se produce la erosión y la pérdida de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas (Daza, 2020).

La Figura 2 presenta el sistema convencional de la comunidad San Francisco de Cajas, el cual evidencia la existencia de monocultivo.

Figura 2

Agroecosistema convencional de la comunidad San Francisco de Cajas provincia de Imbabura



2.1.3 Ecosistema natural

Un ecosistema natural es aquel que conserva sus elementos naturales y servicios hidrológicos para las comunidades andinas del Ecuador. El ejemplo más claro de este ecosistema natural es el páramo ya que se enfoca en la armonización de las especies vegetales y animales. Además, el páramo presenta las siguientes condiciones ambientales como: una presión atmosférica baja, baja densidad, aire seco y húmedo, temperatura promedio baja y fuertes variaciones entre el día y la noche. De manera similar, las temperaturas de la tierra y el aire son altas cuando se exponen a la luz solar directa, pero cambian repentinamente y las precipitaciones son intensas debido a la capa de nubes. Adicionalmente, estos factores pueden provocar heladas, nieve y fuertes vientos en determinadas estaciones (Armenteras et al., 2020).

El sistema natural de la comunidad de San Francisco de Cajas tiene la presencia de flora nativa de la localidad (Figura 3).

Figura 3

Ecosistema natural de la comunidad San Francisco de Cajas de Imbabura



2.2. Hongos

Los hongos del suelo pueden vivir libremente o adherirse a las raíces de las plantas. Además, las levaduras pertenecen a este conjunto de organismos y pueden ser tanto hongos benéficos como patógenos de plantas. Su relevancia radica en que muchos de ellos juegan un papel importante en el proceso de descomposición de la materia orgánica (Heredia, 2020).

2.2.1 Clasificación de los hongos según su taxonomía

Según Rúa (2023), taxonómicamente los hongos se ubican en las siguientes divisiones Chytridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota, Basidiomycota y Microsporidia. Además, habitan en ambientes húmedos, producen zoosporas móviles con flagelos, son descomponedores de materia orgánica y forman asociaciones simbióticas para la absorción de nutrientes en plantas.

2.2.2 Importancia de los hongos del suelo

Los hongos también son componentes importantes de la cadena alimentaria edáfica, especialmente la mesofauna. Por lo tanto, al conservar su diversidad debería beneficiar directamente a la agricultura sostenible a través de la disponibilidad de nutrientes, una mejor estructura física del suelo y el control de fitopatógenos antagónicos en el suelo (Tovar et al., 2020).

2.2.3 Función de los hongos en el suelo

Los hongos del suelo son parte de la descomposición, mineralización y reciclaje de los nutrientes de las plantas. Además, los saprofitos poseen una especificidad de sustrato; por ejemplo, los pertenecientes a la División Zygomycota utilizan carbohidratos simples, mientras que los miembros de la División Ascomycota degradan principalmente celulosa y hemicelulosa. En cuanto a los hongos descomponedores son los encargados de la degradación y contaminantes orgánicos (Zúñiga y Quirós, 2021).

2.3. Agrupación de los hongos de acuerdo como obtiene su energía

2.3.1 Hongos descomponedores

Los hongos saprofitos transforman la materia orgánica inerte en biomasa fúngica, dióxido de carbono (CO₂), moléculas pequeñas como ácidos orgánicos. Además, estos hongos suelen utilizar sustratos leñosos complejos, como la celulosa y la lignina, y son esenciales para descomponer las estructuras del anillo de carbono en ciertos contaminantes. Adicionalmente, muchos metabolitos secundarios de los hongos son ácidos orgánicos, por lo que contribuyen a una mayor acumulación de humus. También, los hongos son ricos en materia orgánica ácida, no se descompone con facilidad y puede durar en el suelo muchos años (Moreira y Díaz, 2021).

2.3.2 Hongos mutualistas

Los hongos micorrízicos colonizan las raíces de las plantas y ayudan a solubilizar el fósforo y a entregar nutrientes (fósforo, nitrógeno, oligoelementos y posiblemente agua) al suelo vegetal. Además, un gran grupo de ectomicorrizas crecen en la capa superficial de las raíces y generalmente se asocian con los árboles. Adicionalmente, el segundo grupo más grande son las endomicorrizas, que crecen en las células de la raíz, a menudo, se asocian con pastos, hierbas, vegetales y arbustos. De igual manera, los hongos arbusculares son un tipo de hongos endomicorrízicos. La micorriza de rododendro puede ser ectomicorrícica o endomicorrícica (Troncoso, 2020).

2.3.3 Hongos patógenos o parásitos

Los hongos patógenos se relacionan con los géneros como: *Verticillium*, *Pythium*, *Fusarium* y *Rhizoctonia*, capaces de desarrollarse en temperaturas (20 a 30 °C) y humedad relativa (70 a 90%). En las plantas este tipo de organismos pueden reducir el crecimiento, afectar la calidad de los frutos e incluso llegar a matar al cultivo si no se controla a tiempo (Mancheno, 2020). Es importante mencionar que para combatir estos hongos existen controladores biológicos como lo son: *Trichoderma*, ectomicorrizas, micorrizas arbusculares, levaduras, endófitos y las *Pseudomonas*, los cuales pueden inhibir el crecimiento de los hongos patógenos, protegen el suelo y ayudan a que las plantas obtengan nutrientes y agua para protegerlas (Rivera y Wright, 2020).

2.4. Hongos filamentosos

La unidad estructural de los hongos filamentosos se les denomina hifas, que en conjunto forman el talo o micelio, que constituirá la parte visible del hongo denominado soma, utilizado para caracterizar de forma macroscópica al hongo en crecimiento (Minchala y Tacuri, 2023). Además, las hifas son estructuras tubulares, que pueden o no ser septadas, cada segmento se considera un tabique que demarca una célula. Adicionalmente, los hongos septados pueden llegar a tener un diámetro inferior de 2 a 5 μm , y los no tabicados denominados cenocíticos o sifonados, tiene un diámetro de 10 a 15 μm ; también, las hifas pigmentadas se las conoce también como hifas demateáceas generalmente de color negro y las hifas sin color como hialinas (Alcos, 2020).

A nivel macroscópico los caracteres a determinar son el color del anverso y reverso de la colonia, la textura, el aspecto, la altura micelar, la forma de crecimiento, la presencia o ausencia de exudado, el cambio de color por el proceso de esporulación, entre otras. Mientras que, a nivel microscópico, se observa la estructura interna de las hifas, si son septadas, no septadas o pseudohifas, el tipo de espora, si es ascospora, basidiospora o conidia, el color, tipo y forma de conidias y conidióforos, entre otras características que hacen a un hongo único (Suárez y Peñaranda, 2022).

2.4.1 Crecimiento de hongos filamentosos

El desarrollo del hongo puede clasificarse de manera cualitativa en tres etapas sucesivas. Inicialmente, se observa una fase en la que el crecimiento no es perceptible de forma evidente. Posteriormente, se presenta un período caracterizado por un crecimiento acelerado y notorio. Finalmente, el proceso culmina con una etapa en la que la velocidad de crecimiento disminuye considerablemente (Hernández et al., 2023). Además, en la primera fase sucede la germinación de esporas a diferencia de la segunda fase que ocurre el desarrollo de micelio en las extremidades de las hifas.

2.5. Importancia de la biodiversidad fúngica en sistemas de producción agrícola

La biodiversidad fúngica en el sistema de producción, utilizan el flujo de energía, nutrientes y sinergia biológica, realiza funciones tales como el reciclaje de nutrientes. Además, esta biodiversidad permite la regulación de los procesos hidrológicos locales, regulación de la

abundancia biológica no deseada y proporciona productos y servicios ecosistémico (Nuñez et al., 2023).

Por otro lado, la intensificación y simplificación del sistema hace que las funciones descritas anteriormente se vayan perdiendo paulatinamente, por lo que tienen que ser sustituidas por productos químicos, lo que incrementa los costos económicos y medioambientales. En consecuencia, la reducción de la biodiversidad vegetal y el impacto epidemiológico resultante pueden afectar negativamente el funcionamiento de los agroecosistemas, provocando graves consecuencias para la productividad y la sostenibilidad agrícola (Zapata et al., 2022).

2.6. Condiciones de crecimiento de los hongos

2.6.1 Medios de cultivos

Los hongos deben tener medios de cultivo con las siguientes condiciones adecuadas que permita su crecimiento y desarrollo: azúcares, sustancias nitrogenadas, y la gelosa que es un soporte sólido, ayuda a los hongos a tener un buen desarrollo de micelio y un pH ácido de entre 5 a 6.5 (Rodríguez, 2020).

2.6.1.1. Agar Dextrosa Sabouraud con Cloranfenicol. Es un medio de cultivo utilizado en el aislamiento y crecimiento de hongos mientras inhibe el desarrollo bacteriano, lo que lo convierte en un medio altamente selectivo. Además, debido a su composición, que incluye dextrosa como fuente de carbono, peptonas como fuente de nitrógeno y nutrientes esenciales y cloranfenicol, un antibiótico que inhibe el crecimiento de bacterias contaminantes, lo que permite obtener cultivos más puros y específicos. Adicionalmente, su pH ligeramente ácido (alrededor de 5.6) favorece el crecimiento micelial de hongos (Gómez et al., 2020).

2.6.2 Temperatura

Según el rango térmico, los hongos pueden clasificarse en los siguientes grupos: los termófilos se desarrollan a partir de un mínimo superior a 20 °C, alcanzando máximos por encima de 50 °C, y presentan un óptimo entre 35 °C y 50 °C. En el caso de los psicrófilos, el crecimiento ocurre por debajo de 0 °C, con un límite superior de 20 °C y condiciones ideales entre 0 °C y 17 °C. Por su parte, los mesófilos pueden desarrollarse desde los 0 °C hasta los 30 °C, siendo más activos en un intervalo de 15 °C a 40 °C (Gómez et al., 2020).

2.7. Marco legal

Esta investigación se desarrolló conforme al marco jurídico vigente en el Ecuador que ampara los derechos de la naturaleza y promueve su conservación. Dichos principios están consagrados en la Constitución de 2008, donde se establece que toda persona tiene derecho a vivir en un entorno saludable y en equilibrio ecológico, como parte esencial del Buen Vivir o Sumak Kawsay. Además, se consideran de interés público la preservación ambiental, la protección de los ecosistemas y de la diversidad biológica, así como la integridad del patrimonio genético nacional, la prevención de impactos negativos al entorno y la recuperación de áreas degradadas.

En este contexto, los centros dedicados a la generación de conocimiento científico con enfoque crítico buscan responder a las necesidades de las comunidades rurales con pertinencia y eficacia. Estas instituciones impulsan transformaciones estructurales en el ámbito agrícola, especialmente en lo relacionado con la agricultura familiar y de subsistencia, facilitando la incorporación de tecnologías productivas sostenibles y la revalorización de prácticas ancestrales eficientes.

Por tanto, la presente investigación se alinea con el marco constitucional ecuatoriano que reconoce a la naturaleza como sujeto de derechos. En particular, el artículo 14 del Capítulo II, Sección Segunda, garantiza el derecho de la ciudadanía a habitar en un ambiente ecológicamente equilibrado, lo que legitima y orienta este tipo de estudios que promueven la sostenibilidad y el bienestar colectivo.

CAPÍTULO III

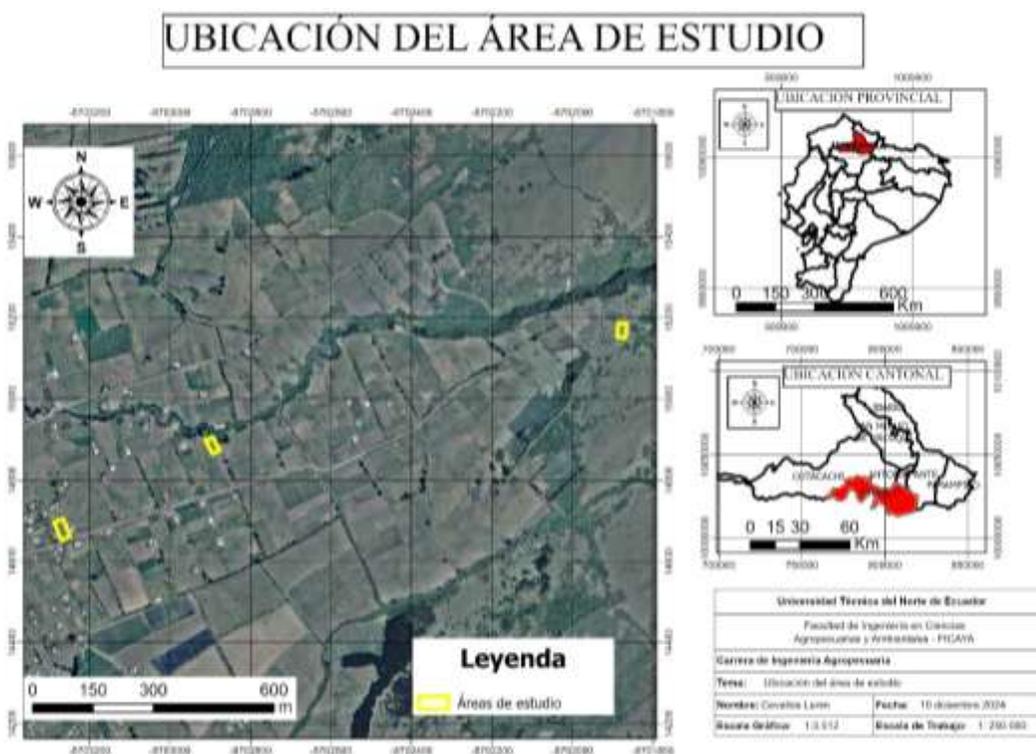
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en la parroquia San Francisco de Cajas del cantón Otavalo ubicado en la provincia de Imbabura como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Ubicación de la parroquia de San Francisco de Cajas en la provincia de Imbabura



Las condiciones agroecológicas de la localidad San Francisco de Cajas son: Altitud 2 694 metros sobre el nivel del mar, temperatura media anual que oscila entre 17°C a 20 °C y precipitación 1784 mm/año.

3.2. Materiales

En la Tabla 1 se presentan los insumos, materiales y equipos utilizados durante la experimentación de campo.

Tabla 1*Materiales, equipos e insumos utilizados en el trabajo de aislamiento de hongos de suelo*

Materiales	Equipos	Insumos	Herramientas
Botas	Microscopio	Azul de lactofenol	Pala recta
Guantes	Cámara	Agua destilada	
Etiquetas de identificación	Fotográfica	Agar Dextrosa con cloranfenicol	
Cofia	Computador		
Zapatones	Autoclave	Agar papa Dextrosa	
Mascarilla	Cabina de flujo laminar	Alcohol al 70 %	
Placas Petri	Balanza digital	Detergente líquido	
Bolsas ziploc	Plancha de calentamiento	Arroz	
Espátulas Drigalsky	Vortex		
Porta objetos	Micropipeta		
Mandil	Incubadora estándar		
Pipetas	Refrigerador		
Tubo de ensayo	Estufa digital		
Mecheros			
Papel film			

3.3. Métodos

Esta investigación es de tipo descriptiva con enfoque cualitativo por lo que no tiene un diseño experimental, con la que se buscó evaluar la diversidad de hongos presentes en tres agroecosistemas de la localidad de San Francisco de Cajas en la provincia de Imbabura. Además, esta investigación se llevó a cabo en condiciones controladas experimentales en donde se utilizaron equipos que permitieron la realización de procedimientos planteados.

Tabla 2

Metodologías planteadas en la investigación

Metodologías	Descripción
mt1	Siembra directa
mt2	Trampas microbianas
mt3	Diluciones seriadas

3.3.1 Población y muestra

La asociación de mujeres Chakra sisa ayudaron con la selección de los tres agroecosistemas en los que se realizó la investigación, los que corresponden a: un convencional, uno en transición al agroecológico y un ecosistema natural. A continuación, se realiza una breve descripción de los componentes de la localidad en estudio.

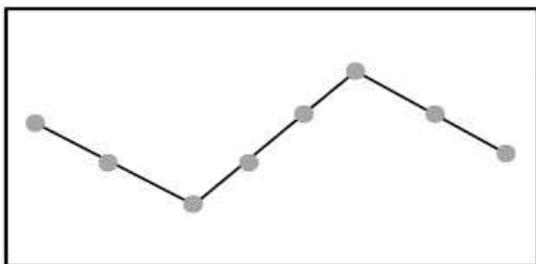
3.3.1.1. San Francisco de Cajas. Esta comunidad tiene una extensión de 190 ha con un total de 131 856 ha habitantes de los cuales 5 421 personar tiene sus huertos familiares o chacras y otros terrenos con ganado y/o cultivos anuales como papa, granos andinos y trigo (Inlago, 2016).

3.3.2 Unidad muestral

Para realizar el muestreo del suelo se consideró a cada agroecosistema una unidad experimental de la que se tomaron ocho submuestras para hacer una muestra madre en las tres metodologías. El muestreo se realizó en Zig-Zag (Figura 7)

Figura 5

Sistema de muestreo en Zig-Zag en los agroecosistemas en estudio



Nota. Los puntos indican el número total de muestras y su disposición de muestreo.

3.4. Variables a evaluarse

Las variables a medir durante la investigación fueron las siguientes:

3.4.1 Crecimiento de la colonia

De cada colonia se midió el diámetro (mm) con un vernier, de manera visual. Las mediciones se realizaron cada ocho horas, hasta que la colonia ocupó las 2/3 partes de la placa Petri. Esta variable se registró en un libro de campo para pasar al programa de Excel. Se tomaron en cuenta los siguientes parámetros de tiempo: crecimiento rápido entre 1 y 2 semanas, moderado entre 2 y 3 semanas y lento entre 3 y 4 semanas (Pacasa et al., 2017).

3.4.2 Forma de la colonia

La identificación de esta variable se realizó de manera visual en cada colonia cuando alcanzó las 2/3 partes de la placa Petri. Además, las formas de colonia que se tomaron en cuenta fueron: circular, irregular y filamentosa, según lo descrito por Pacasa et al. (2017).

3.4.3 Color de la colonia

En esta variable se observó tanto el anverso como el reverso de las placas Petri de todas las cepas de hongos aisladas, cuando estas alcanzaron las 2/3 partes de la placa. Según Villacís (2024) para determinar el color es necesario la utilización de escalas que se muestran en la Figura 8.

Figura 6

Escala de color para observar el anverso y reverso de la colonia



Fuente: Villacís (2024)

3.4.4 Margen de la colonia

La forma que tiene el margen de la colonia fue analizada de acuerdo a lo descrito Pacasa et al. (2017). Las diferentes formas reportadas son: entera, lobulada, desflecada y rizoide. La observación de esta variable fue realizada cuando la colonia ocupó las 2/3 partes de la placa Petri.

3.4.5 Superficie de la colonia

Esta variable fue medida cuando las colonias alcanzaron las 2/3 partes de la placa Petri. Además, las superficies de la colonia más comunes descritas por Pacasa et al. (2017) son: plegada, con surcos radiados y cerebriforme.

3.4.6 Textura de la colonia

Pacasa et al. (2017), describen que la textura de la colonia puede ser granulosa, pulverulenta, vellosa, aterciopelada o algodonosa. Para determinar esta variable, la observación fue realizada cuando las colonias ocupaban seis cm de la placa Petri.

Las características morfológicas de las colonias fúngicas cultivadas en medios especiales siguen siendo un paso importante para evaluar la diversidad fúngica en muestras de suelo. Esta caracterización incluye análisis macroscópico y microscópico, que es el primero útil para determinar la textura, pigmentación, reserva, exudado y viceversa para las colonias, mientras que el segundo se centra en estructuras como hifas, conidioforos, esporas y otros elementos reproductivos.

Según Kumar et al. (2021) la observación de la estructura de la colonia permite caracterizar el crecimiento del micelio, su capacidad para rastrear y posible adaptación a condiciones edáficas específicas. Estudios recientes similares han indicado que la textura (algodonosa, lanuda, granulosa, compacta) y la pigmentación están asociadas con ciertos géneros como *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus* y *Fusarium* (Silva et al., 2020).

3.4.7 Índice de diversidad

Según Chen y Grienfeld (2024) mencionan que los índices de diversidad de hongos son herramientas empleadas en ecología para medir y contrastar la biodiversidad de comunidades de hongos en diferentes ecosistemas. Estos índices tienen en cuenta tanto la diversidad de especies

(cantidad total de especies presentes) como la equidad (distribución proporcional de individuos entre las especies).

Por otro lado, los indicadores de diversidad facilitan la evaluación de las comunidades microbiotas desarrolladas en los ecosistemas. Además, permiten la identificación de regiones con alta biodiversidad de hongos para que se puedan conservar sin verse afectada por acciones humanas (Kitidou et al., 2024).

3.4.7.1. Riqueza de especies. La riqueza de especie se refiere al número total de especies de hongos encontrados en cada uno de los agroecosistemas en estudio. Además, permite evaluar la dinámica ecológica y las capacidades de cada sistema para sustentar diferentes formas de vida (Heredia, 2020).

3.4.7.2. Índice de Similitud de Jaccard. Este índice se aplica comúnmente para comparar la diversidad fúngica entre distintos ecosistemas. Se calcula como la proporción del número de géneros comunes entre los conjuntos en relación con el total de géneros presentes en ambos conjuntos en esta investigación. Este índice varía entre 0 y 1, donde 1 indica que ambos conjuntos son idénticos en términos de los géneros presentes, y 0 sugiere que no comparten ningún género en común (Chao et al., 2005).

$$\text{Índice de Jaccard} = \frac{c}{(a+b-c)}$$

Donde;

a= número de géneros presentes en el agroecosistema agroecológico

b= número de géneros presentes en el agroecosistema convencional

c= número de géneros presentes en ambos agroecosistemas

3.4.8 Funciones ecológicas de los hongos

Para esta variable se realizó una revisión de literatura, donde se encontraron que los hongos cumplen con funciones como: descomposición, recolecta de nutrientes, bioindicadores de la calidad del suelo (Heredia, 2020). Estas funciones son de acuerdo a cada genero de hongo que permiten desarrollarse en el entorno.

3.5. Manejo específico del experimento

3.5.1 Identificación y selección de agroecosistemas

La selección de agroecosistemas se realizó junto a la asociación de mujeres Chakra Sisa de la localidad San Francisco de Cajas en el cantón de Otavalo de la provincia de Imbabura (Figura 9).

Figura 7

Agroecosistemas evaluados de San Francisco de Cajas



3.5.2 Elaboración de medio de cultivo

3.5.2.1. Elaboración de medio de cultivo semisólido Agar Dextrosa Sabouraud con Cloranfenicol. Según Villacís (2024) para preparar este medio de cultivo primero se debe realizar el pesaje de 65 g (Biokar) en la balanza digital. Luego se depositó en un frasco de vidrio con 1000 ml de agua destilada, se trasladó a la plancha de calentamiento hasta que suceda su ebullición. Se llevó a la autoclave para esterilizarlo a 121°C, 14 PSI por 30 minutos, después se dejó enfriar, hasta que alcance los 50°C

Por otro lado, en una cámara de flujo laminar, se sirvieron 20 ml del medio de cultivo en cada placa Petri, las que fueron esterilizadas previamente, se dejó reposar hasta su solidificación para después almacenar a temperatura ambiente. Para utilizar las placas Petri se dejó almacenada por dos días para poder descartar alguna contaminación del medio cultivo (Villacís, 2024).

3.5.2.2. Muestreo. El muestreo se llevó a cabo en tres tipos de agroecosistemas: natural, convencional y agroecológico. Para realizar esta actividad, se emplearon herramientas adecuadas, como la pala recta. Se establecieron ocho puntos de muestreo, en los cuales se procedió a extraer el suelo cerca de la zona radicular de las plantas, obteniendo entre 100 y 200 gramos de suelo por cada punto. Es importante resaltar que, durante todo el proceso, se utilizaron guantes descartables para mantener los estándares de higiene y evitar cualquier tipo de contaminación. Finalmente, las muestras recolectadas fueron cuidadosamente almacenadas en fundas plásticas tipo Ziploc, lo que garantizó una adecuada conservación del material hasta su posterior análisis en el laboratorio.

Figura 8

Sistema de muestreo en Zig-Zag



3.5.3 Identificación de muestras

La identificación de las muestras recolectadas se realizó mediante el uso de una ficha de muestreo (Anexo 1) diseñada para registrar información clave del sitio de recolección. En esta ficha se incluyeron datos como la fecha de recolección, las coordenadas geográficas del punto de muestreo (latitud y longitud), entre otras características.

3.5.4 Traslado de muestras

Las muestras se clasificaron de acuerdo con los tres agroecosistemas de estudio en la localidad de San Francisco de Cajas mediante la utilización de cajas de almacenamiento. Además, estas muestras mantuvieron una temperatura de 4°C que se llevaron cuidadosamente al laboratorio de Microbiología en la Granja experimental La Pradera UTN para proceder con sus respectivas metodologías.

3.5.5 Aislamiento de hongos

La muestra total fue de 500 g de suelo, de la que se separaron 100 g de suelo mediante la utilización de un tamiz. Además, para el aislamiento de los hongos se utilizó el medio de cultivo: Agar Dextrosa Sabouraud con Cloranfenicol (Pacasa et al., 2017).

3.5.6 Siembra directa de suelo en medio de cultivo

Esta metodología consiste en que cada muestra de suelo se tome una muestra representativa de un gramo de suelo para depositarla en cada placa con el medio de cultivo Agar Dextrosa Sabouraud con Cloranfenicol. Además, cada placa fue incubada a una temperatura de 25 °C durante 36 horas para que su proliferación las colonias (Rodríguez et al., 2019).

3.5.7 Purificación de hongos

El área de trabajo fue desinfectada previamente con una solución de alcohol al 70 %, garantizando condiciones asépticas durante el procedimiento. La técnica aplicada consistió en flamear el asa de platino, previamente impregnada con el mismo desinfectante, utilizando dos mecheros encendidos. Luego del flameado, se dejó enfriar durante cinco segundos. A continuación, se recolectó una pequeña porción de micelio, la cual fue transferida a un nuevo medio de cultivo Agar Dextrosa Sabouraud con Cloranfenicol. Finalmente, se descartaron los cultivos que presentaron contaminación bacteriana y se realizaron varios refrescamientos hasta obtener cultivos completamente puros (Villacís, 2024).

3.5.8 Identificación de hongos

Se utilizó esta técnica para las tres metodologías en la que consistió en utilizar el lado pegante de una cinta para identificar los hongos bajo el microscopio. Además, esta cinta se presionó suavemente en la muestra de la colonia para extraer el micelio aéreo. Luego se colocó dos gotas de azul de lactofenol sobre el portaobjetos en la que se ubicó la muestra, se evitó la formación de burbujas de aire. Después se llevó la muestra al microscopio invertido para mayor resolución de imágenes. Finalmente se registró las características morfológicas del micelio y las formas de las estructuras reproductivas con un aumento de 40x (Pacasa et al., 2017).

Figura 9

Colocación de muestra de suelo en medio de cultivo



3.5.9 Metodología 2 trampas microbianas

Según Villacís (2024) menciona que, para añadir la trampa de arroz en cada agroecosistema, se identificó un área que tenga vegetación, suelo firme y seco. Además, con la pala recta se realizó un hoyo de unos 20 cm de profundidad, la trampa fue colocada de manera inversa para que el arroz entre en contacto con el suelo. Luego el hoyo se lo cubrió con hojarasca y con cantidad pequeña de tierra para que las precipitaciones no causen daño en las trampas. Se procedió a identificar el área de las trampas con estacas para mejorar la visibilidad. Luego de dos semanas, se extrajeron con precaución las trampas para que no exista ninguna anomalía. Se tomó en cuenta las trampas contaminadas para descartar en ese instante.

Por otro lado, se identificaron colores de granos de arroz café, rojo, morado, rosado, gris, amarillo y anaranjado. Además, en la cámara de flujo laminar con ayuda de una pinza y bisturí se hizo el flameado con alcohol al 70%, se seleccionaron por cada trampa los granos de coloraciones antes mencionadas para colocarles en placas Petri con medio de cultivo. Después los bordes de la placa Petri fueron flameados, sellados con papel film y rotulados con el nombre del agroecosistema y fecha de aislamiento. Posteriormente, se incubaron a 25°C durante los días prudentes para el crecimiento de micelio seguido de dos días en luz para estimular la esporulación.

Figura 10

Instalación de la trampa microbiana en campo



3.5.10 Metodología 3 diluciones seriadas

De acuerdo con lo expuesto por Arias et al. (2020), el procedimiento de diluciones seriadas se inició disolviendo 10 gramos de suelo en 90 ml de agua peptonada estéril, correspondiente a una dilución 10^{-1} . Esta mezcla se agitó de forma homogénea y se dejó reposar durante cinco minutos para permitir la decantación de los sólidos. Posteriormente, utilizando una micropipeta, se transfirió 1 ml de esta mezcla a un tubo de ensayo que contenía 9 ml adicionales de agua peptonada, generando así la siguiente dilución. El proceso se repitió sucesivamente con agitación mediante vortex, hasta alcanzar una dilución de 10^{-7} . Para cada muestra se preparó dos réplicas, las cuales fueron sembradas aplicando la técnica de esparcimiento. En esta etapa, se depositó 1 ml de cada dilución sobre placas Petri con medio de cultivo Agar Dextrosa Sabouraud con Cloranfenicol, distribuido el líquido con un asa de Drigalsky. Finalmente, las placas Petri se incubaron a una temperatura constante de 25 °C durante un periodo de 72 horas, tiempo necesario para favorecer el desarrollo de colonias fúngicas.

Figura 11

Preparación de diluciones seriadas



3.5.11 Identificación de características morfológicas de los hongos

Según lo indicado por Pérez y Zárate (2018), la identificación macroscópica de los hongos se realiza mediante una observación minuciosa de las características de las colonias que crecen en cajas Petri. En el anverso, se describen aspectos como: forma, color y textura de la colonia, mientras que en reverso destaca principalmente la coloración, que puede variar según el tipo de hongo y el medio de cultivo utilizado. Estas observaciones son esenciales para realizar una primera clasificación morfológica, un paso fundamental en la caracterización de las cepas fúngicas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características de las áreas de estudio

El agroecosistema convencional abarcó un área de 520.34 m², destinada al cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), organizada en surcos con crecimiento irregular, afectado por la presencia de malezas como lengua de vaca (*Rumex obtusifolius* L.), mostaza blanca (*Sinapis alba* L.) y kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hochst.) en sus alrededores. El terreno estaba delimitado por barreras vivas conformadas principalmente por eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.), árbol lechero (*Euphorbia laurifolia* Klotzsch ex Klotzsch) y otras especies nativas como *Gynoxys baccharoides*, que contribuían a la protección del cultivo frente a condiciones climáticas adversas como vientos intensos o lluvias torrenciales.

Durante todo el ciclo fenológico del cultivo se aplicaron insumos químicos (pesticidas, herbicidas y fungicidas) de forma periódica, los cuales tienen efectos directos sobre la salud del suelo y su equilibrio biológico. El lote se ubicó en un terreno con una pendiente del 3 %, y su manejo respondió a prácticas agrícolas tradicionales implementadas por el agricultor local en sus chacras, sin intervención de técnicas agroecológicas ni criterios de conservación del suelo.

Figura 12

Agroecosistema convencional de San Francisco de Cajas



Por otro lado, en el agroecosistema agroecológico presentó un área de 1180 m² con una asociación de cultivos como: lechuga (*Lactuca sativa* L.), col (*Brassica oleracea* L.), rábano (*Raphanus sativus* L.), cebolla (*Allium fistulosum* L.), maíz (*Zea mays* L.), frejol (*Phaseolus vulgaris* L.). El predio estuvo dividido en cuatro zonas para su rotación agrícola con su debida delimitación

utilizando plantas de rudas (*Ruta graveolens* L.), geranio (*Geranium* sp.), cedrón (*Aloysia citrodora* Paláu.). Además, la asociación de indígenas de la zona implementó espacios donde realizaron compost con los residuos vegetales de los productos cosechados. Asimismo, se identificaron insectos benéficos que cumplen con funciones como: polinizar las plantas, eliminar insectos patógenos que influyen en el equilibrio y salud del agroecosistema.

Figura 13

Agroecosistema agroecológico de San Francisco de Cajas



Finalmente, en el ecosistema natural se determinó un área de 1100 m² con una pendiente pronunciada donde existen especies vegetales como: pajonales (*Calamagrostis intermedia* J. Presl Steud.), (*Festuca subulifolia* Benth.), árboles de (*Gynoxys baccharoides* Cass.) y (*Polylepis incana* Kunth). Además, los pajonales se componen de gramíneas en forma de macolla, hojas maduras y duras. Los pastizales estuvieron compuestos por gramíneas de un porte bajo, hojas anchas y suaves que se encuentran en ambiente abierto asociado con otras especies de menor tamaño.

Figura 14

Ecosistema natural de San Francisco de Cajas



4.2. Número de hongos en los diferentes agroecosistemas y metodologías

En la Tabla 3 se observa las tres metodologías que corresponden siembra directa (mt1), trampas microbianas (mt2) y diluciones seriadas (mt3) tuvieron 9, 15 y 11 hongos respectivamente. Además, indica el número posible de especies de hongos que se encontraron en los agroecosistemas convencional (cv), agroecológico (ag) y natural (nt). Cabe mencionar que en total se obtuvieron 35 hongos en toda la investigación.

Tabla 3

Número de hongos presentes en los agroecosistemas evaluados

Metodología 1		Metodología 2		Metodología 3	
Siembra directa		Trampas microbianas		Diluciones seriadas	
mt1cv1	<i>Rhizopus</i>	mt2cv1	<i>Penicillium</i>	mt3cv1	<i>Rhizopus</i>
mt1cv2	<i>Absidia</i>	mt2cv2	<i>Rhizopus</i>	mt3cv2	<i>Penicillium</i>
mt1ag1	<i>Rhizopus</i>	mt2cv3	<i>Rhizopus</i>	mt3cv3	<i>Rhizopus</i>
mt1ag2	<i>Mucor</i>	mt2ag1	<i>Rhizopus</i>	mt3ag1	<i>Rhizopus</i>
mt1ag3	<i>Fusarium</i>	mt2ag2	<i>Rhizopus</i>	mt3ag2	<i>Scopulariopsis</i>
mt1ag4	<i>Rhizopus</i>	mt2ag3	<i>Rhizopus</i>	mt3ag3	<i>Rhizopus</i>
mt1ag5	<i>Fusarium</i>	mt2ag4	<i>Absidia</i>	mt3ag4	<i>Rhizopus</i>
mt1ag6	<i>Geotrichum</i>	mt2ag5	<i>Fusarium</i>	mt3ag5	<i>Aspergillus</i>
mt1nt 1	<i>Rhizopus</i>	mt2nt 1	<i>Rhizopus</i>	mt3nt1	<i>Rhizopus</i>
		mt2nt 2	<i>Aspergillus</i>	mt3nt2	<i>Rhizopus</i>
		mt2nt 3	<i>Cladobotryum</i>	mt3nt3	<i>Fusarium</i>
		mt2nt 4	<i>Fusarium</i>		
		mt2nt 5	<i>Aspergillus</i>		
		mt2nt 6	<i>Penicillium</i>		
		mt2nt 7	<i>Rhizopus</i>		

4.3. Características morfológicas

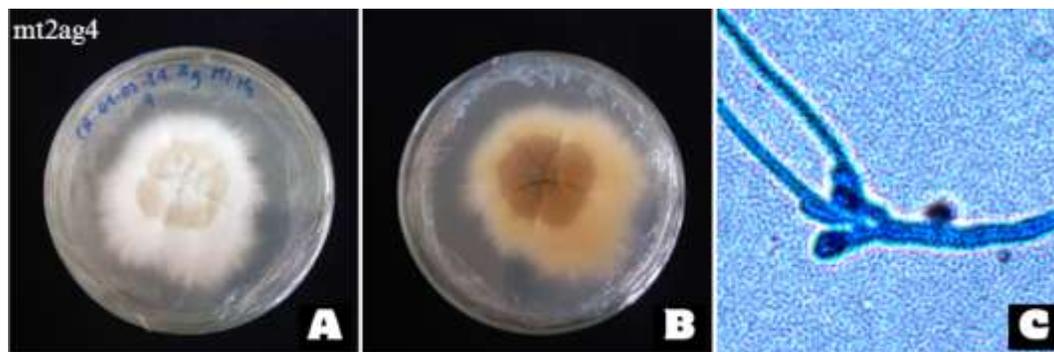
A continuación, se describirán las características morfológicas de cada una de las cepas aisladas durante toda la investigación mediante las tres metodologías: siembra directa, trampas microbianas y diluciones seriadas en los diferentes agroecosistemas.

En la Figura 15 se detalla la cepa del hongo *Absidia* sp. en el agroecosistema agroecológico. En el análisis macroscópico, la colonia presentó una forma irregular, con elevación limitada pero pronunciada, un margen rizoide con surcos radiados y una textura aterciopelada. La coloración

observada tanto en el anverso como en el reverso fue beige uniforme. A nivel microscópico, se identificaron hifas de gran tamaño y esporas con morfología ovalada. Estas características coinciden con las descritas para especies del género *Absidia*, según lo reportado por Chi (2020).

Figura 15

Características macroscópicas y microscópicas de Absidia sp. obtenido en el agroecosistema agroecológico



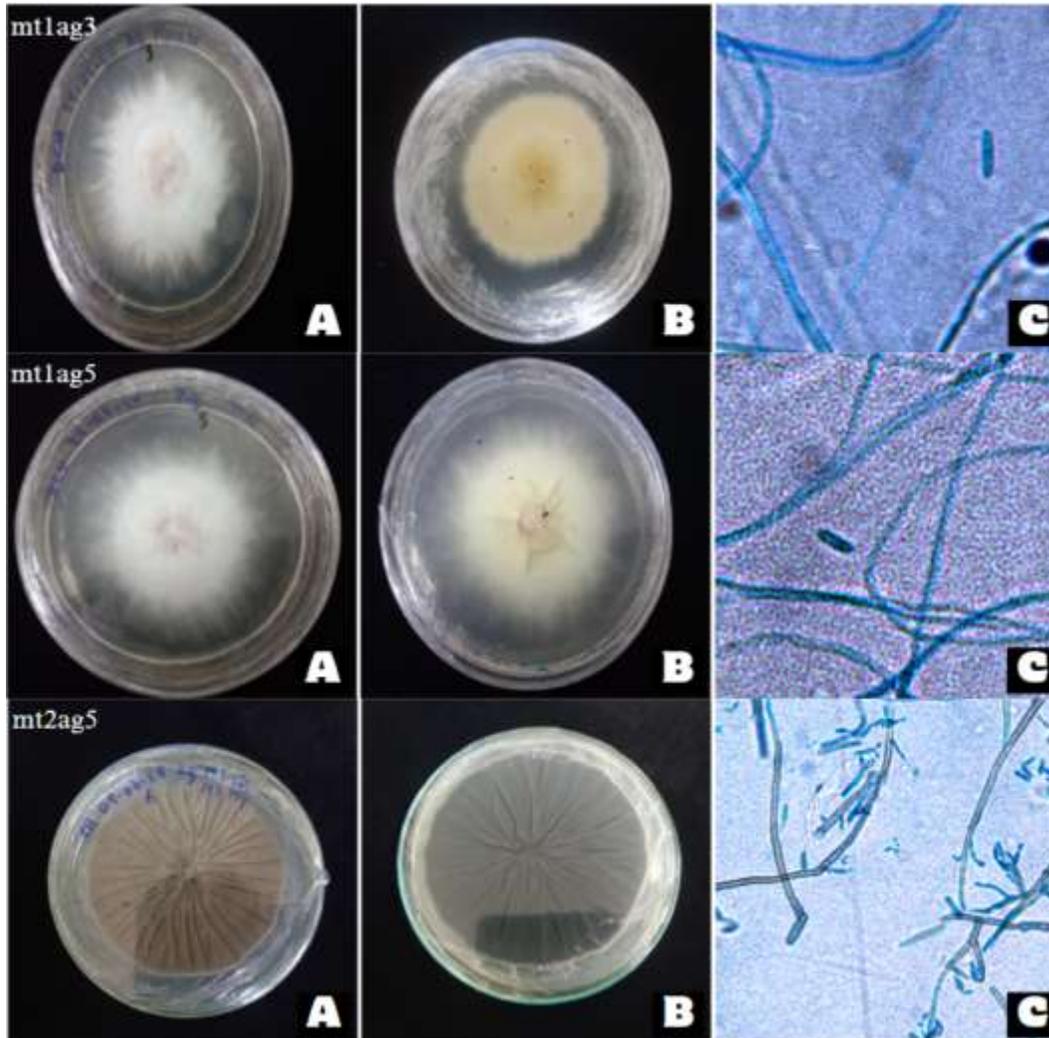
Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia, C) estructura microscópica del hongo (40 x).

En la Figura 16 se muestra las cepas del género *Fusarium*, evaluadas en el agroecosistema agroecológico, se evidenció que el anverso de las colonias, los tres códigos (mt1ag3, mt1ag5 y mt2ag5) mostraron una forma irregular, aunque la elevación varió: fue elevada y limitada en mt1ag3 y mt1ag5, mientras que en mt2ag5 se caracterizó por una elevación plana y extendida. Las texturas también presentaron diferencias notables: tanto mt1ag3 como mt1ag5 compartieron una superficie vellosa con márgenes filamentosos, mientras que mt2ag5 presentó una textura pulverulenta con un margen lobulado. En cuanto a la coloración, mt1ag3 presentó una combinación de tonos morado y blanco, mt1ag5 exhibió un blanco con matices púrpura, y mt2ag5 se distinguió por su tonalidad verde en ambas caras.

Desde el punto de vista microscópico, se identificaron estructuras distintivas en cada una de las cepas. En el hongo mt1ag3, se observaron hifas hialinas y aseptadas, con un desarrollo que dio lugar a un micelio profusamente ramificado. La cepa mt1ag5 presentó conidióforos con forma ovalada, mientras que mt2ag5 mostró hifas de gran tamaño y esporas circulares. Estas características coinciden con las del género *Fusarium* obtenidas en la investigación de Álvarez et al. (2024).

Figura 16

Características macroscópicas y microscópicas de cepas del género *Fusarium* obtenidos en el agroecosistema agroecológico

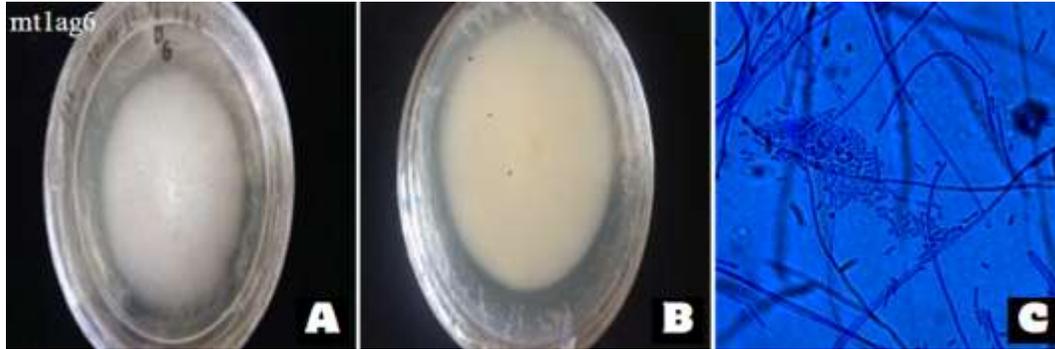


Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia, C) estructura microscópica del hongo (40 x).

Otro de los generos aislados en la investigación es *Geotrichum*, las características de la colonia pueden visualizarse en la Figura 17 mismas que son: forma circular, elevación plana y extendida, margen entero y textura granulosa. Además, en la parte frontal y reverso se mostró un color blanco. En la Figura 16-C tiene características en la estructura como: fragmentos de hifas, conidios que funcionaron como esporas.

Figura 17

Características macroscópicas y microscópicas del hongo Geotrichum sp. obtenido en el agroecosistema agroecológico

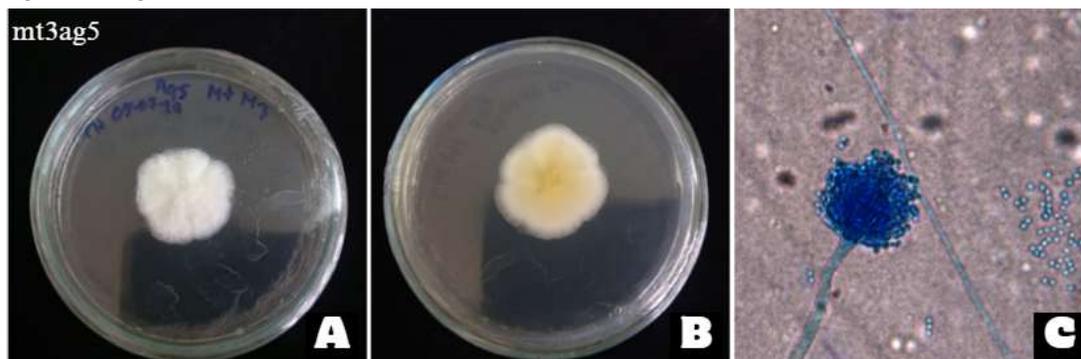


Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia, C) estructura microscópica del hongo (40 x).

La cepa del género *Aspergillus* sp., se puede observar en la Figura 18 donde se identificó las características del hongo aislado en el agroecosistema agroecológico. En el anverso se observa que la colonia presentó una forma irregular, elevación plana y extendida, margen con surcos radiados y textura aterciopelada. Además, presentó color blanco y en el reverso un tono blanco con amarillo. En cuanto a la microscopía se encontró en el extremo de la hifa conidióforos en abundancia de forma redonda. Estas características coinciden con las descritas para el género *Aspergillus*, según lo reportado por Arzanlou et al. (2016).

Figura 18

Características macroscópicas y microscópicas de Aspergillus sp. Obtenido en el agroecosistema agroecológico

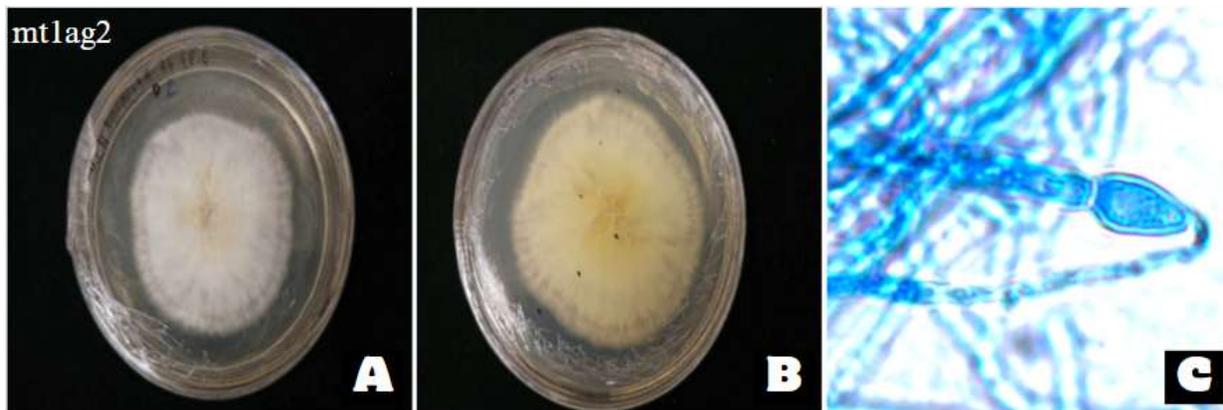


Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia, C) estructura microscópica del hongo (40 x).

La Figura 19 se observa la cepa del género *Mucor*, aislado en el agroecosistema agroecológico. En el anverso de la colonia se observó una forma irregular, con elevación plana y extendida, margen filamentososo y una superficie con surcos radiados. El color, tanto en el anverso como en el reverso, fue predominantemente blanco con una ligera tonalidad amarilla. En cuanto a las observaciones microscópicas, se identificaron hifas anchas, aseptadas y con extremos en forma de punta. Según lo reportado por Cruz et al. (2019) las características observadas en el género *Mucor* guardan correspondencia con las descritas en su investigación sobre hongos.

Figura 19

Características macroscópicas y microscópicas del hongo Mucor sp. obtenido en el agroecosistema agroecológico

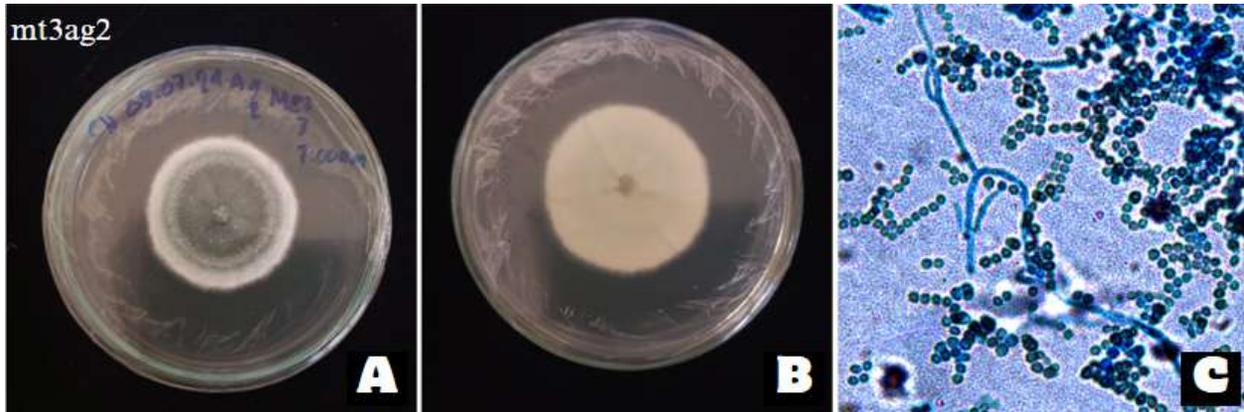


Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia, C) estructura microscópica del hongo (40 x).

La Figura 20 se muestra la cepa del género *Scopulariopsis*, donde tiene una forma circular, elevación plana y extendida, margen con surcos radiados y textura pulverulenta. Además, en la parte frontal presentó un color verde oliva y reverso un color blanco. En cuanto a la microscopía se encontró macroconidios de forma ovoide, alargados o ligeramente curvados. Estas características coinciden con la investigación de Sobowale y Ogunoye (2022).

Figura 20

Características macroscópicas y microscópicas de la cepa Scopulariopsis sp. obtenida en el agroecosistema agroecológico



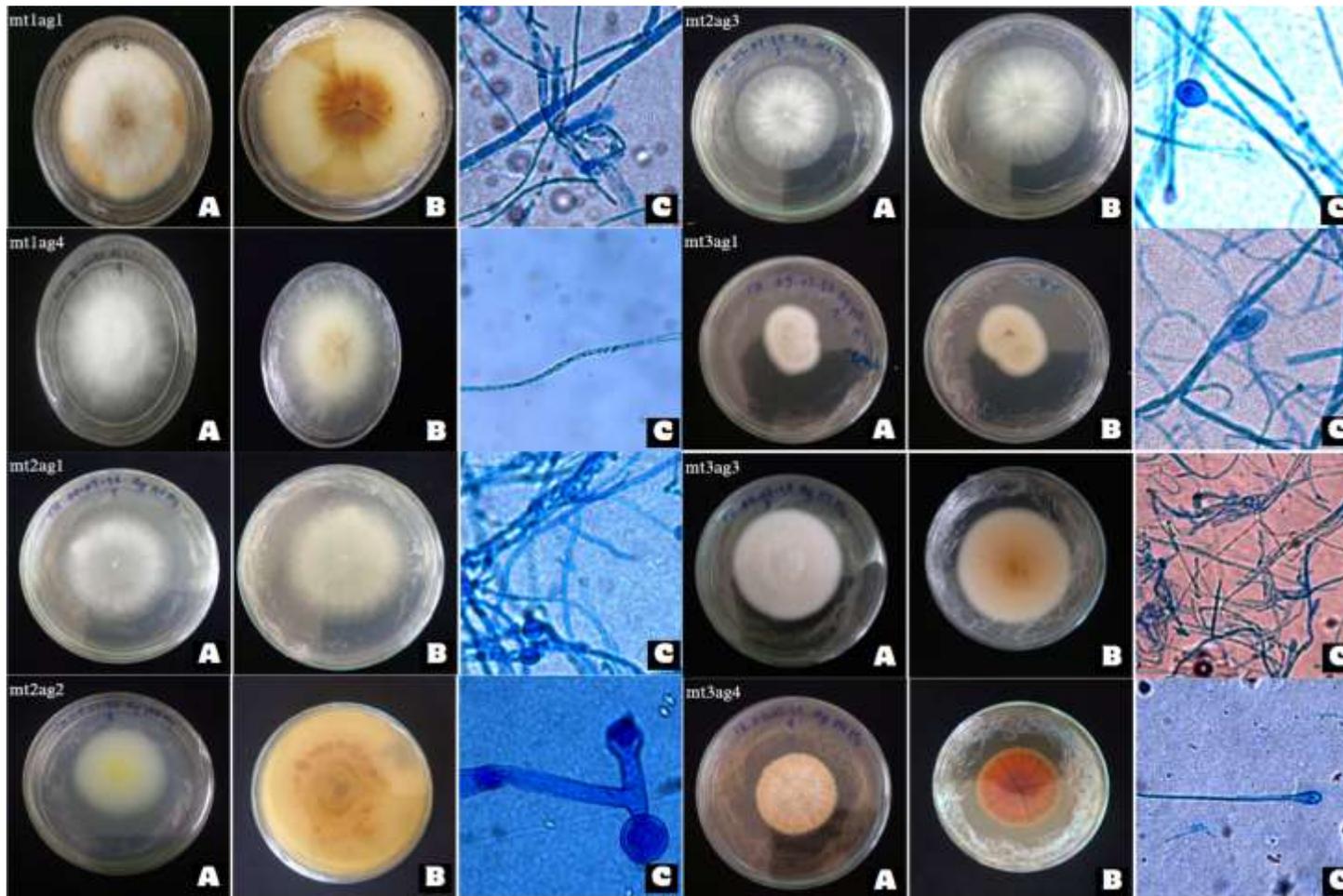
Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia, C) estructura microscópica del hongo (40 x).

En las distintas cepas de *Rhizopus* spp., aisladas en el agroecosistema agroecológico, se observaron variaciones morfológicas tanto macroscópicas como microscópicas en la Figura 21. En cuanto a la morfología del anverso de la colonia, la mayoría presentó una forma circular con elevación plana y extendida, bordes que variaron entre enteros, filamentosos. Esta característica se evidenció en los códigos mt1ag1, mt2ag2, mt2ag3, mt3ag1, mt3ag3 y mt3ag4. Por otro lado, las cepas mt1ag4 y mt3ag1 destacaron por su forma irregular, y la mt2ag1 mostró una morfología filamentosa con surcos radiados, al igual que mt3ag4, que además presentó anillos de color blanco y naranja en la parte frontal. La textura superficial varió entre vellosa en mt1ag1, mt2ag2, mt2ag3, algodonosa en mt1ag4, mt3ag1, aterciopelada en mt3ag4 y granulosa en mt3ag3.

Respecto a las características microscópicas observadas todas las cepas presentaron hifas alargadas y aseptadas, aunque con ligeras diferencias en forma y disposición. En las cepas mt1ag1, mt2ag2, y mt2ag1 se registraron hifas grandes o anchas, con esporas de formas ovoides o circulares, mientras que mt1ag4 mostró hifas delgadas con tabiques transversales (septos) cerca de los puntos de ramificación, lo cual la diferencia del resto. Las cepas mt2ag3, mt3ag1 y mt3ag4 compartieron esporas de forma ovalada u ovoide, en tanto que mt3ag3 presentó hifas ligeramente curvadas muy similares a los descritos en la literatura para el género *Rhizopus* (Villacis, 2024). Es importante señalar que este hongo tiene un crecimiento invasivo

Figura 21

Morfología macroscópica y microscópica de los hongos del género Rhizopus aislado en el agroecosistema agroecológico



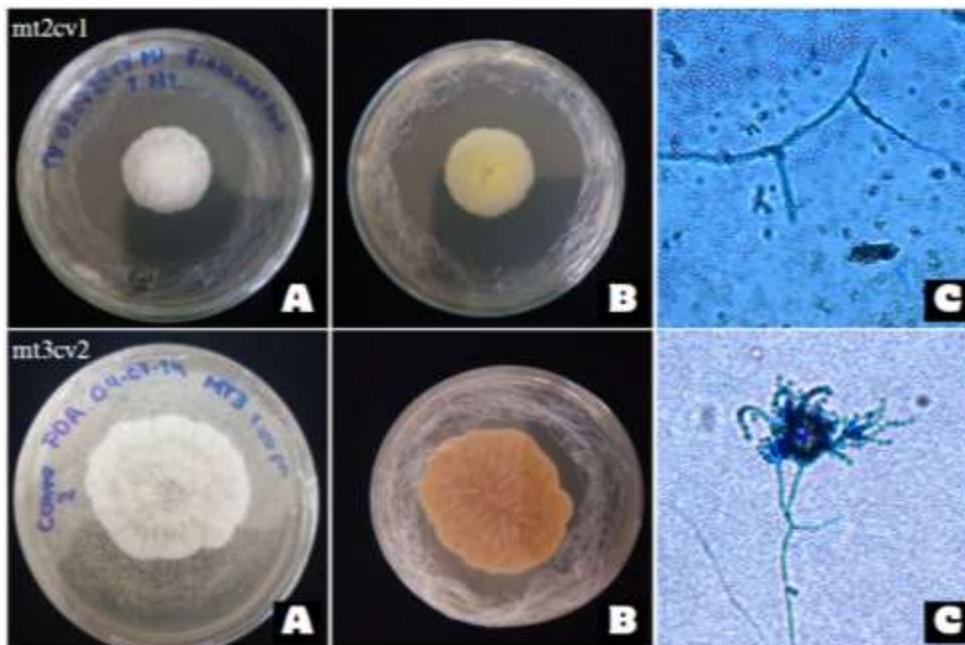
Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia, C) estructura microscópica del hongo (40 x)

En los hongos aislados bajo sistema convencional, correspondientes al género *Penicillium*, se observaron variaciones morfológicas tanto a nivel macroscópico como microscópico, según se muestra en los códigos mt2cv1 y mt3cv2 que se observa en la Figura 22.

En cuanto a la morfología externa de las colonias, mt2cv1 presentó una estructura circular, con elevación limitada pero sobresaliente, un margen de tipo rizoide y textura vellosa, predominando una coloración blanca, mientras que mt3cv2 mostró una forma irregular, elevación más extendida y aplanada, borde con surcos radiales y superficie aterciopelada, observándose una tonalidad blanca con matices grisáceos. Esta última cepa se diferenció además por presentar una coloración naranja en el reverso, a diferencia de mt2cv1, cuyo reverso fue principalmente blanco con un centro beige. Desde el análisis microscópico, mt2cv1 evidenció hifas alargadas acompañadas de esporas circulares, mientras que en mt3cv2 se identificaron conidióforos ramificados, a partir de las cuales se originaban cadenas alargadas. Estas características mencionadas coinciden con el género *Penicillium* descritas en la investigación de Arias & Piñeros (2008).

Figura 22

Características morfológicas y microscópicas de los hongos del género Penicillium aisladas en el agroecosistema convencional

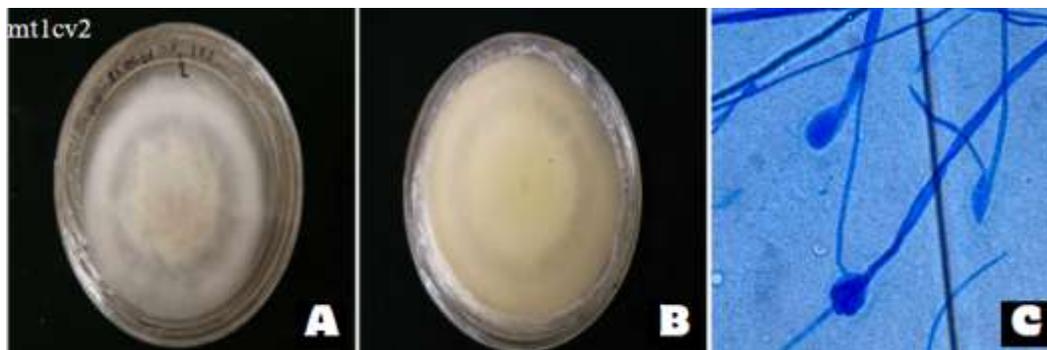


Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia C) estructura microscópica del hongo (40 x).

En la Figura 23 se muestran características morfológicas de la cepa de *Absidia* sp., aislado en el agroecosistema con manejo convencional. Este hongo tiene forma irregular, elevación limitada, margen filamentososo, textura algodonosa. Además, en anverso y reverso tiene un color blanco con un tono gris pardusco. Visualizando el microscopio se observó hifas aseptadas y la forma de las esporas ovoide. Estas características son similares con las descritas para el género *Absidia* en la investigación de Hernández et al. (2023).

Figura 23

Morfología macroscópica y microscópica de Absidia spp. aislada en agroecosistema convencional

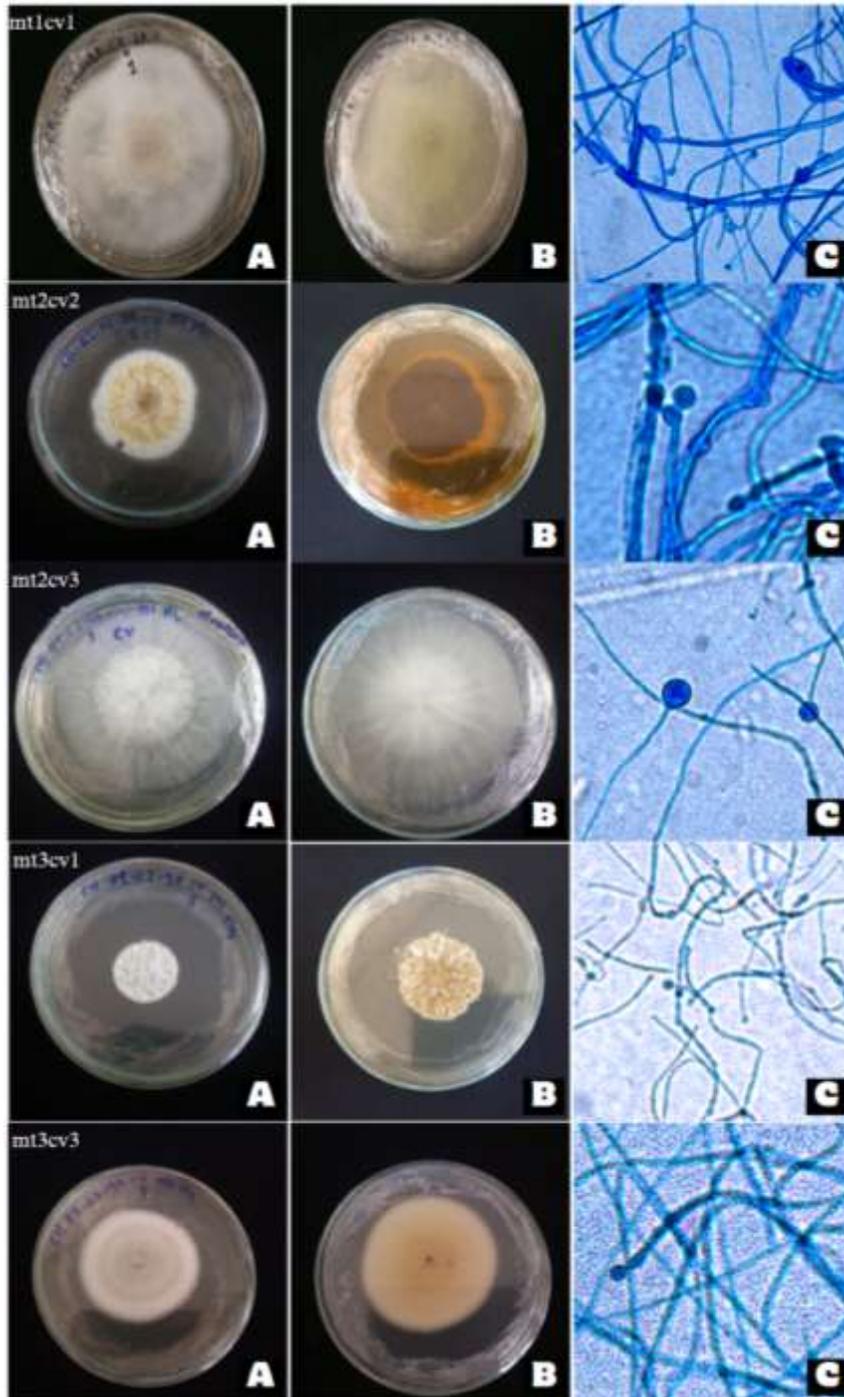


Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia C) estructura microscópica del hongo (40 x).

En el sistema convencional, los hongos analizados presentaron variaciones en la morfología externa y en la estructura microscópica como se observa en la Figura 24. Las cepas mt1cv1, mt2cv2, mt2cv3 y mt3cv3 compartieron una coloración predominante blanca en el anverso, aunque mt2cv2 y mt3cv3 mostraron tonalidades adicionales como tomate, café y grisáceo. En cuanto a la forma, predominaron las colonias irregulares con elevación plana y extendida, salvo mt2cv3, que fue circular y elevada. Respecto a la textura, se observaron superficies aterciopeladas y vellosas, con márgenes diversos: desde enteros hasta filamentosos o radiados. En el reverso, se encontraron colores desde blanco y gris hasta amarillo y naranja. A nivel microscópico, todas las cepas mostraron hifas alargadas o septadas, con esporas redondas u ovaladas, excepto mt3cv1, que destacó por una abundante presencia de conidióforos esféricos. Estas variaciones evidencian la diversidad estructural de los hongos presentes en condiciones convencionales. De acuerdo con Arias y Piñeros (2008) las características observadas coinciden con las descritas para el género *Rhizopus*, según lo reportado en su investigación.

Figura 24

Características macroscópicas y microscópicas de cepas del género Rhizopus obtenidos en el agroecosistema convencional

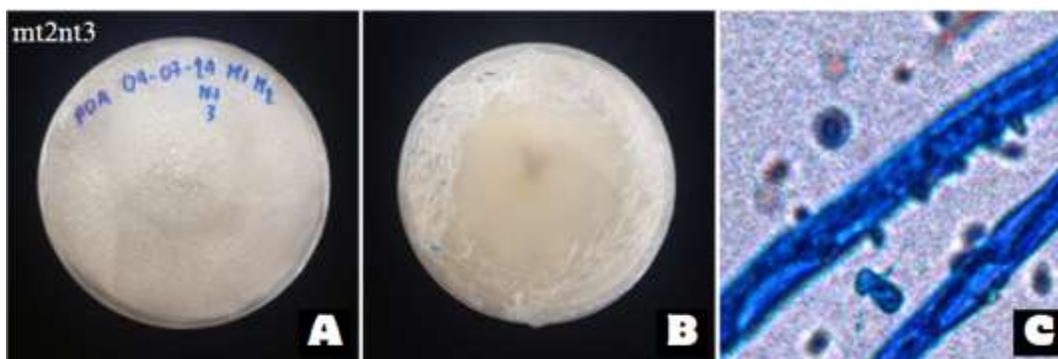


Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia, C) estructura microscópica del hongo (40 x).

Por otro lado, la Figura 25 se observó las características del hongo *Cladobotryum* sp. en el agroecosistema natural. Mismo que posee una forma filamentosa, elevación elevada y limitada, margen rizoide y textura algodonosa. Además, en el anverso y reverso tiene un color blanco. En cuanto a la microscopia se encontró hifas grandes y con conidios con forma elipsoidales. Milic et al. (2022) mencionan que estas características se asemejan al género *Cladobotryum* descritas en su investigación.

Figura 25

Características macroscópicas y microscópicas del hongo Cladobotryum sp. aislado en el sistema natural



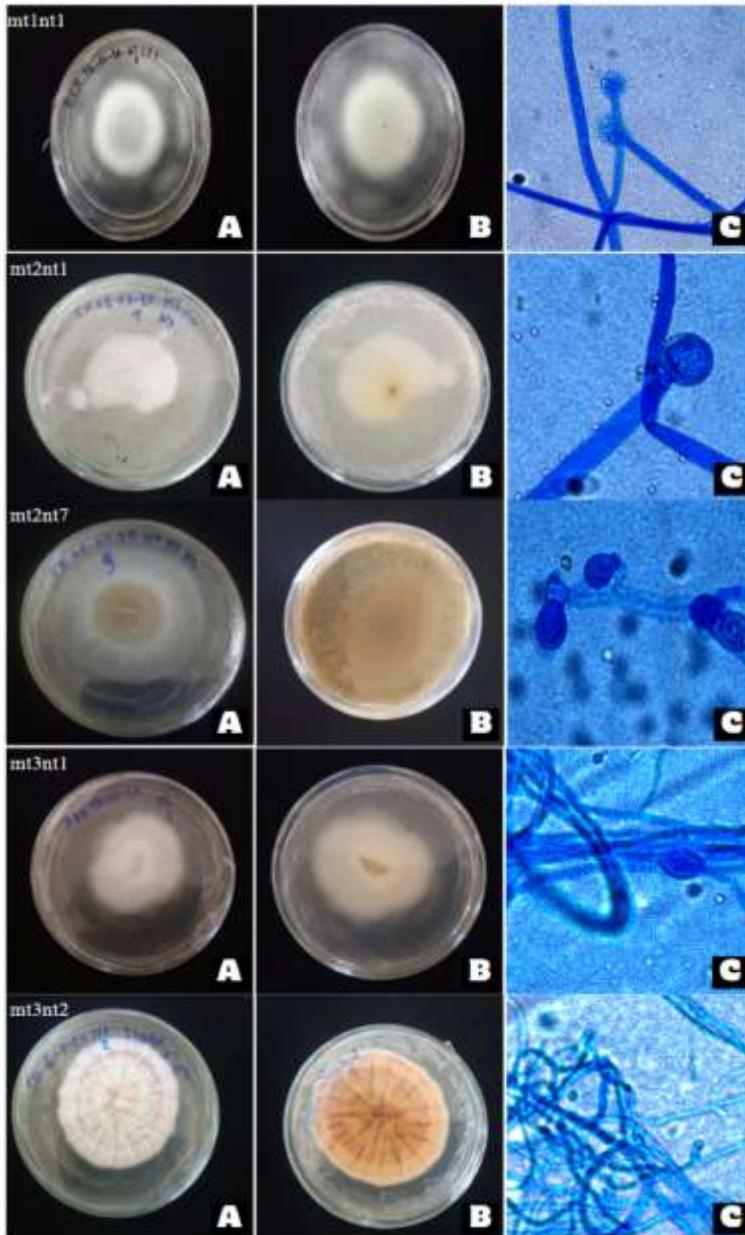
Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia, C) estructura microscópica del hongo (40 x).

Se identificaron cinco cepas del género *Rhizopus*, en el sistema natural (Figura 26). En cuanto al desarrollo colonial, se observó que todas las cepas presentaron una forma irregular en el anverso de la colonia. Las elevaciones fueron mayormente planas y extendidas, salvo en mt1nt1, cuya elevación fue ilimitada. La textura predominante fue algodonosa en las cepas mt1nt1 y mt2nt1, mientras que en mt2nt7 fue pulverulenta, en mt3nt1 y mt3nt2 aterciopelada. En cuanto a la coloración, mt1nt1 y mt2nt1 mantuvieron un color blanco uniforme, mientras que mt2nt7 presentó una mezcla de beige y blanco; mt3nt1 mostró tonalidades blancas con amarillo en el reverso, y mt3nt2 destacó por su combinación de blanco con morado en ambas caras de la colonia.

Por otro lado, microscópicamente se identificaron estructuras diferenciadas entre las cepas: mt1nt1 presentó hifas aseptadas con esporas de forma circular; mt2nt1 mostró hifas cenocíticas, anchas; mt2nt7 evidenció hifas de gran tamaño; en mt3nt1, se detectó una abundante presencia de conidióforos de forma esférica y en mt3nt2 hifas alargadas con esporas ovaladas.

Figura 26

Características macroscópicas y microscópicas de cepas del género Rhizopus aislado en el sistema natural



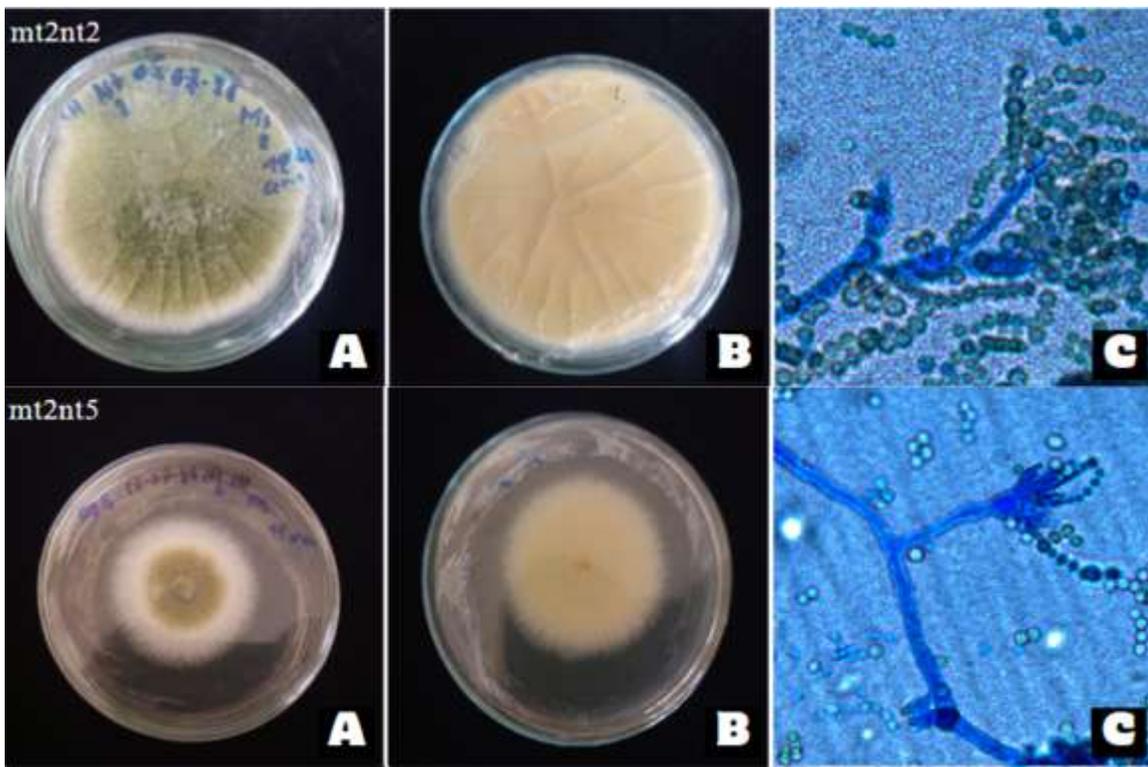
Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia, C) estructura microscópica del hongo (40 x).

En la Figura 27 se observan las cepas mt2nt2 y mt2nt5, aisladas en el sistema de manejo no tradicional, mostraron similitudes notables en su morfología colonial y estructuras reproductivas,

aunque también presentaron ciertos rasgos diferenciadores. Ambas desarrollaron colonias de forma irregular, con elevación plana y extensión amplia, y compartieron una textura granulosa. En cuanto a la coloración del anverso, se caracterizaron por tonalidades verde oliva, aunque mt2nt5 presentó además zonas blancas, mientras que, en el reverso ambas evidenciaron una pigmentación beige. En lo que respecta a la estructura microscópica, mt2nt2 mostró conidios esféricos, dispuestos sobre conidióforos erectos, cuya superficie varía entre lisa o rugosa, en función de la especie; por su parte, en mt2nt5 se identificaron también conidióforos, aunque sin mayor detalle en su morfología. Estas características coinciden con el género *Aspergillus* mencionadas en la investigación de Arias & Piñeros (2008).

Figura 27

Características macroscópicas y microscópicas de cepas del género Aspergillus obtenidos en el sistema natural



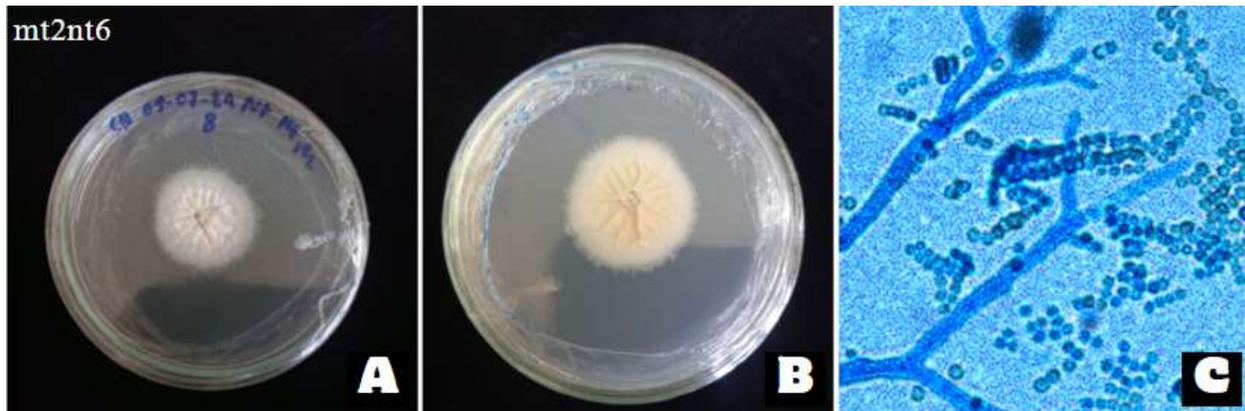
Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia, C) estructura microscópica del hongo (40 x).

La Figura 28 muestra las características del hongo aislado tiene una forma circular, elevación plana y extendida, margen entero con surcos radiados, textura aterciopelada. El color del anverso y

reverso es beige con blanco. Además, en la Figura 26-C se identificó en su estructura microscópica los conidios. Arias & Piñeros (2008) mencionan que las características mencionadas se realcionan con las del género *Penicillium*.

Figura 28

Características macroscópicas y macroscópicas del hongo Penicillium sp. obtenido en el sistema natural

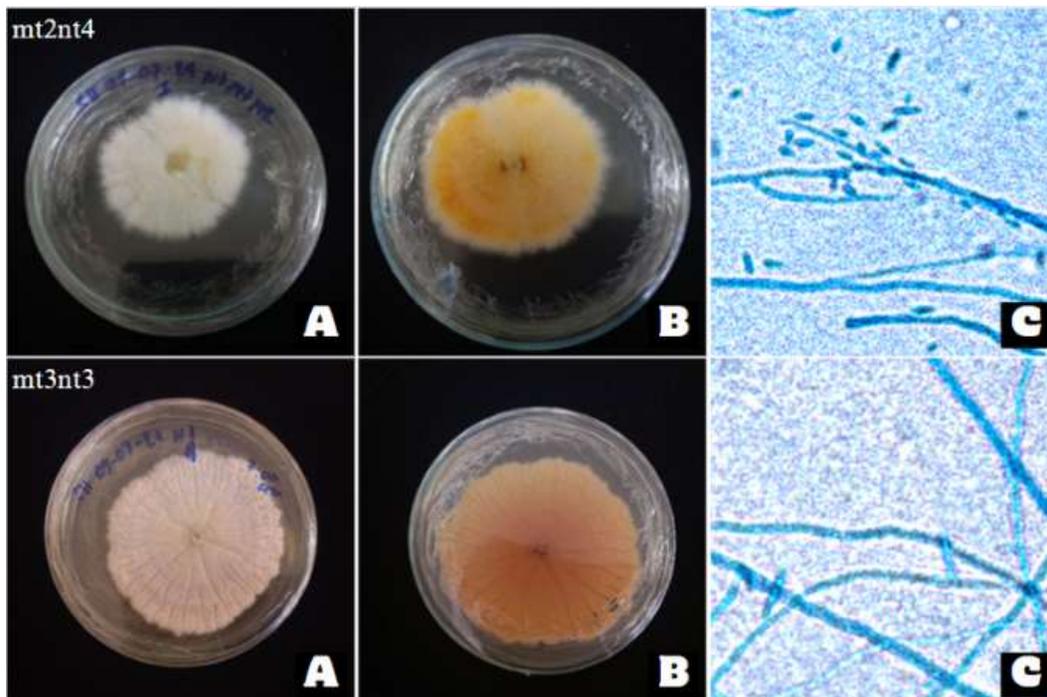


Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia, C) estructura microscópica del hongo (40 x).

La Figura 29 se puede observar las cepas mt2nt4 y mt3nt3 tuvieron una forma irregular, con elevación plana y expansión extendida, aunque sus márgenes variaron: mt2nt4 presentó un borde filamentososo, mientras que mt3nt3 mostró surcos bien definidos a lo largo del margen. En cuanto a la textura, mt2nt4 presentó una superficie granulosa, en contraste con la apariencia aterciopelada de mt3nt3. En lo que respecta a la coloración, ambas cepas compartieron un anverso blanco, aunque se diferenciaron en el reverso, donde mt2nt4 mostró un tono amarillo y mt3nt3, un color beige. Desde el punto de vista microscópico, ambas presentaron macroconidios, sin embargo, la cepa mt2nt4 exhibió estructuras alargadas en forma de media luna con septos transversales, mientras que mt3nt3 mostró conidios de contorno ovoide, ligeramente curvados. Las características observadas son congruentes con descripciones del género *Fusarium*, tal como lo reportan Sosa et al. (2022) y Ekwomadu & Mwanza (2023), lo que respalda su identificación taxonómica.

Figura 29

Características macroscópicas y microscópicas de cepas del género Fusarium aislado en el sistema natural



Nota: A) anverso de la colonia, B) reverso de la colonia, C) estructura microscópica del hongo (40 x).

4.4. Velocidad de crecimiento radial de los hongos

Según Pacasa et al. (2017) mencionan que se debe tener en cuenta los siguientes parámetros de tiempo para determinar el crecimiento micelial (mm) de los hongos: Rápido entre una y dos semanas, moderado entre dos y tres semanas y lento entre tres y cuatro semanas. En esta investigación se identificaron 35 posibles especies de hongos en los tres agroecosistemas. De los cuales, 11 corresponden al ecosistema natural, 8 al convencional y 16 al agroecológico.

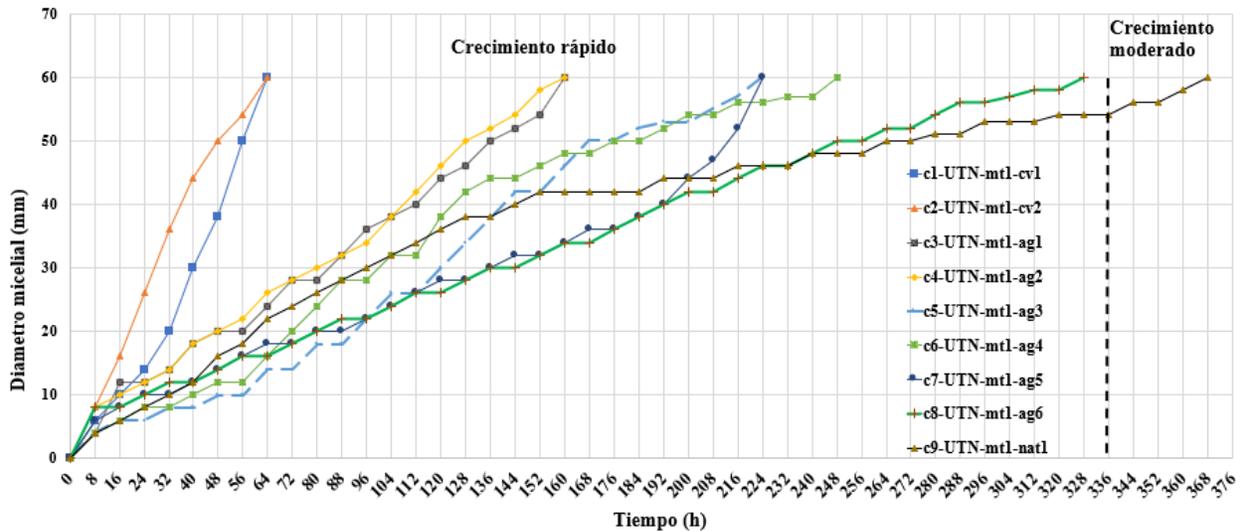
A continuación, se presenta el crecimiento micelial (mm) de los hongos empleando cada una de las metodologías descritas con anterioridad: siembra directa, trampas microbianas (sustrato arroz) y diluciones seriadas con sus respectivos agroecosistemas.

El crecimiento micelial (mm) de cada una de las cepas aisladas empleando la siembra directa se puede observar en la Figura 30. Determinándose el tiempo que tarda en ocupar las 2/3 partes de la

placa Petri (60 mm). Las dos cepas *Rhizopus* (mt1cv1) y *Absidia* (mt1cv2) que se aislaron del agroecosistema convencional tienen un crecimiento rápido porque solo se necesitaron 64 horas para invadir el espacio requerido de la placa. Mientras que, en el agroecosistema agroecológico se identificaron seis cepas *Rhizopus* (mt1ag1), *Mucor* (mt1ag2), *Fusarium* (mt1ag3), *Rhizopus* (mt1ag4), *Fusarium* (mt1ag5) y *Geotrichum* (mt1ag6) que registraron una velocidad de crecimiento rápida (160 a 328 horas para alcanzar un diámetro de 60 mm). Por último, la cepa *Rhizopus* (mt1nt1) del tercer agroecosistema presenta un crecimiento moderado porque el tiempo para ocupar el espacio de la placa fue de 368 horas (entre dos y tres semanas).

Figura 30

Crecimiento del micelio de los hongos aislados por siembra directa, de los agroecosistemas de González Suárez



Según Arias y Piñeros (2008) las condiciones ambientales como: temperatura, luz, medio de cultivo pueden intervenir en el crecimiento del diámetro de la colonia en los diferentes géneros de hongos. El medio de cultivo Agar Dextrosa Sabouraud con Cloranfenicol es rico en sacarosa, por lo tanto, permite que esta especie tenga un diámetro de la colonia igual.

Además, Arias y Piñeros (2008) mencionan que en el medio de cultivo Agar Dextrosa Sabouraud el género *Fusarium* alcanzó un diámetro en la colonia de 30 a 55 mm a los 7 días con una temperatura de 25 °C. Mientras que en esta investigación se presentó 60 mm de diámetro micelial

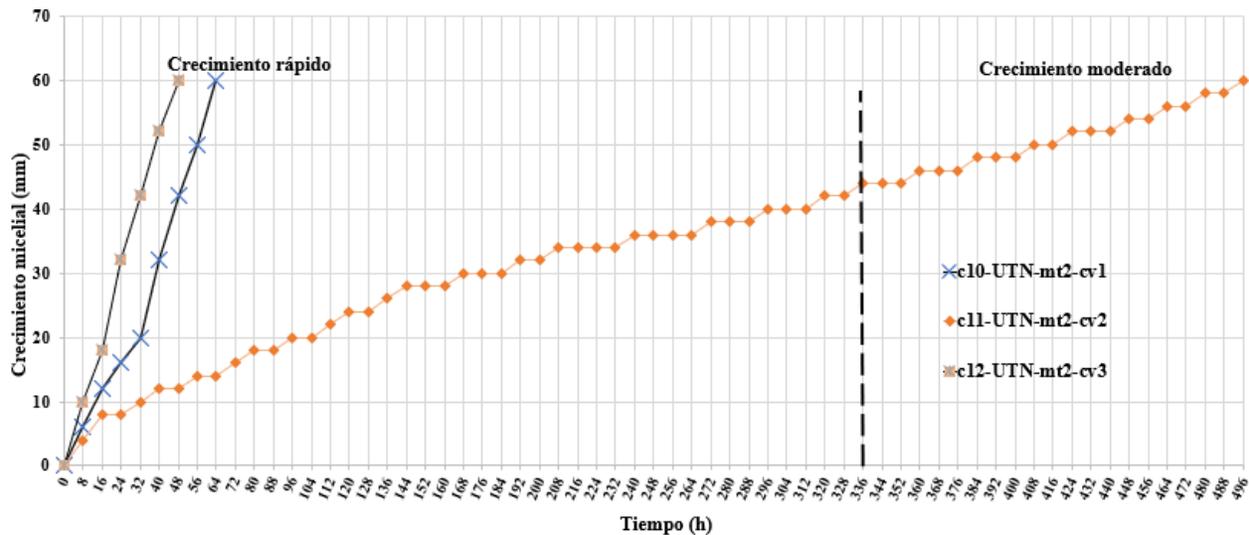
en 10 días en el medio de cultivo Agar Dextrosa Sabouraud con Cloranfenicol, esto se debe a las condiciones a las que se encontraban expuestos.

A continuación, se presenta el crecimiento de las colonias empleando la metodología 2 por cada agroecosistema de estudio, lo que se ve reflejado en las Figuras 31, 32 y 33 respectivamente.

En la Figura 31 se observa el crecimiento de tres cepas de hongos, con diferente tiempo. Dos cepas *Penicillium* (mt2cv1) y *Rhizopus* (mt2cv3) se consideran con velocidad de crecimiento rápido (demoraron de 48 a 56 horas en ocupar las 2/3 partes de la placa), mientras que la cepa restante *Rhizopus* (mtscv2), muestra una velocidad de crecimiento moderado, con un tiempo de 496 horas para ocupar el espacio que se reporta en la literatura.

Figura 31

Crecimiento del micelio de los hongos aislados por trampas microbianas en el agroecosistema convencional

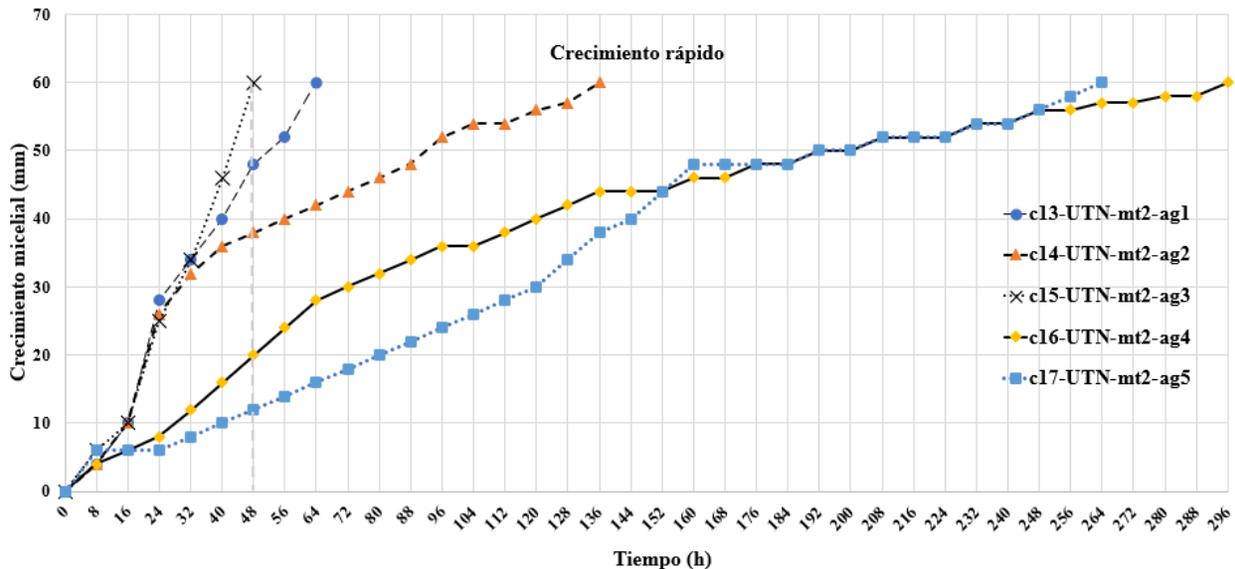


Arias y Piñeros (2008) mencionan que las especies del género *Aspergillus* tienen un diámetro en la colonia de 20 mm en 7 días a una temperatura de 25 °C. En comparación con esta investigación una cepa de hongo alcanza los 60 mm a las 496 horas, posiblemente se trate de este género de hongo con crecimiento moderado. Además, dos cepas de hongos están relacionadas al género *Rhizopus* debido a su crecimiento rápido en la colonia con 64 horas (2 días) para alcanzar 60 mm de diámetro.

En el caso de las cepas aisladas en el sistema agroecológico, se determinó que todas tiene una velocidad de crecimiento rápida (demoraron entre 40 y 296 horas en alcanzar las 2/3 partes de la placa Petri) (Figura 32).

Figura 32

Crecimiento del micelio de los hongos aislados por trampas microbianas en el agroecosistema agroecológico



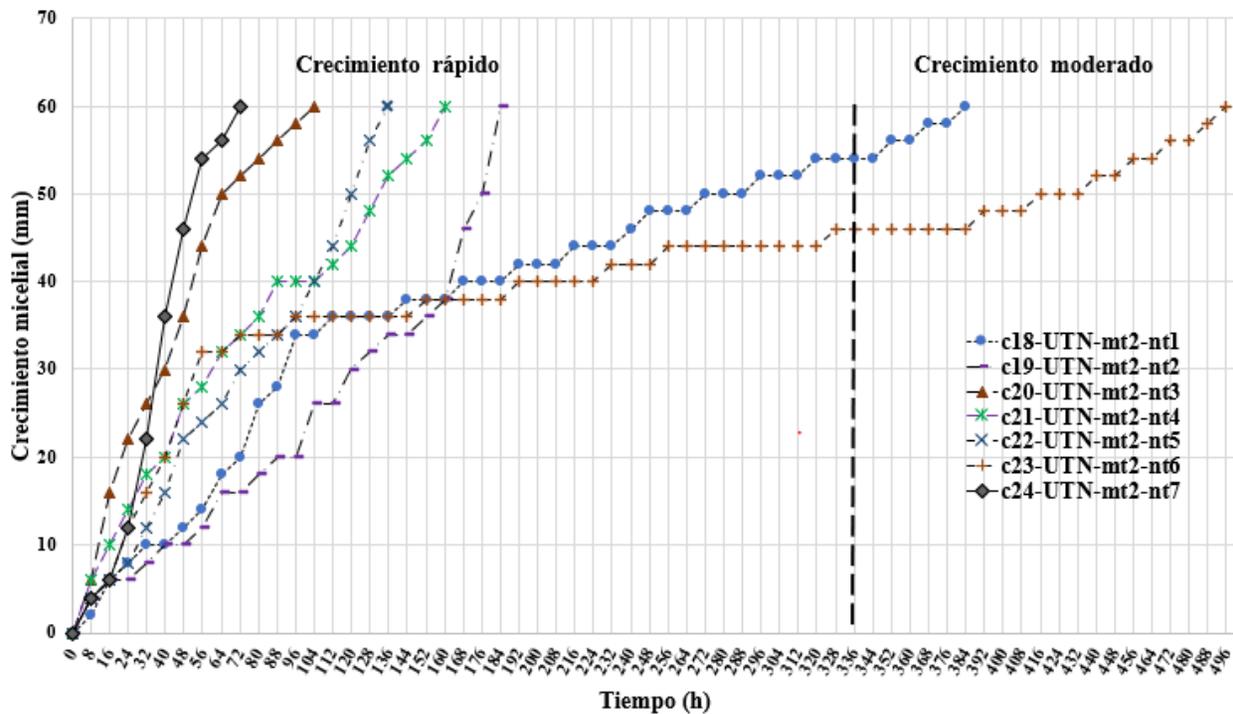
Las especies del género *Rhizopus* en medios de cultivo Agar Dextrosa Sabouraud con Cloranfenicol a una temperatura de 25 °C a los 2 días alcanzó un diámetro de colonia de 60 mm (Arias y Piñeros, 2008). Mientras que en esta investigación las dos cepas de este género presentaron un crecimiento rápido debido a que en 2 y 3 días tuvieron 60 mm de diámetro micelial. Además, en el género *Fusarium* con las características de trabajo mencionadas previamente, el crecimiento de la colonia fue de 10 mm de diámetro micelial en los 7 días. Mientras que en esta investigación las dos colonias que pertenecen a este género fue mayor debido a que ocuparon un tiempo entre 6 y 10 días para completar con los 60 mm de diámetro de crecimiento micelial.

En la figura 33 se observó el crecimiento micelial de 7 cepas aisladas de la segunda metodología. Además, 5 de ellas *Aspergillus* (mt2nt2), *Cladobotryum* (mt2nt3), *Fusarium* (mt2nt4), *Aspergillus* (mt2nt5) y *Rhizopus* (mt2nt7) tienen un crecimiento rápido porque tardaron 72 a 336 horas en alcanzar las 2/3 partes de la placa. Al contrario de las 2 cepas *Rhizopus* (mt2nt1) y *Penicillium*

(mt2nt6) que presentaron un crecimiento moderado ya que necesitaron entre 336 a 496 horas en ocupar los 60 mm de diámetro de la colonia.

Figura 33

Crecimiento del micelio de los hongos aislados por trampas microbianas en el agroecosistema natural



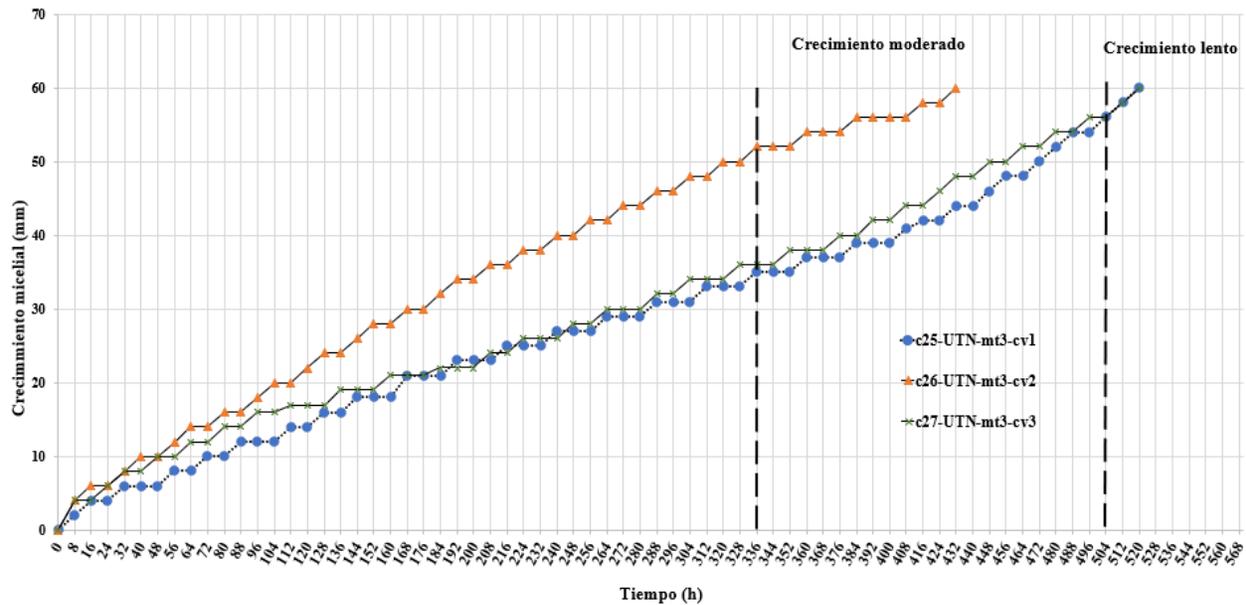
Según Arias y Piñeros (2008) mencionan que el género *Rhizopus* en el cultivo Agar Dextrosa Sabouraud con Cloranfenicol a una temperatura de 25 °C a los 7 días alcanzó un diámetro de colonia de 60 mm. Mientras que en esta investigación ocurrió una variación de tiempo en los dos hongos del género *Rhizopus*, en la primera cepa 2 días fue necesario para alcanzar los 60 mm de diámetro a diferencia de la segunda cepa su tiempo fue mucho mayor con 21 días correspondiente. Además, en el género *Penicillium* con las condiciones experimentales iguales a la investigación, el crecimiento de la colonia fue de 10 mm en los 7 días. Mientras que en la presente investigación ocupó la cepa que pertenece al género *Penicillium* fue de 60 mm a los 6 días.

A continuación, se presenta en la Figura 34, 35 y 36 el tiempo de crecimiento de la colonia de la última metodología con los tres agroecosistemas mencionados anteriormente.

En la Figura 34 se observa las 3 cepas de hongos aisladas del agroecosistema convencional con su respectivo crecimiento de la colonia para alcanzar los 60 (mm) de diámetro. Además, la cepa *Penicillium* (mt3cv2) tiene un crecimiento moderado debido a que necesitó 432 horas para ocupar las 2/3 partes de la placa Petri mientras que las dos posibles especies que pertenecen a *Rhizopus* (mt3cv1) y *Rhizopus* (mt3cv3) restantes tienen un crecimiento lento porque necesitaron 520 horas para poder invadir los 60 mm de crecimiento micelial.

Figura 34

Crecimiento del micelio de los hongos aislados por diluciones seriadas en el agroecosistema convencional

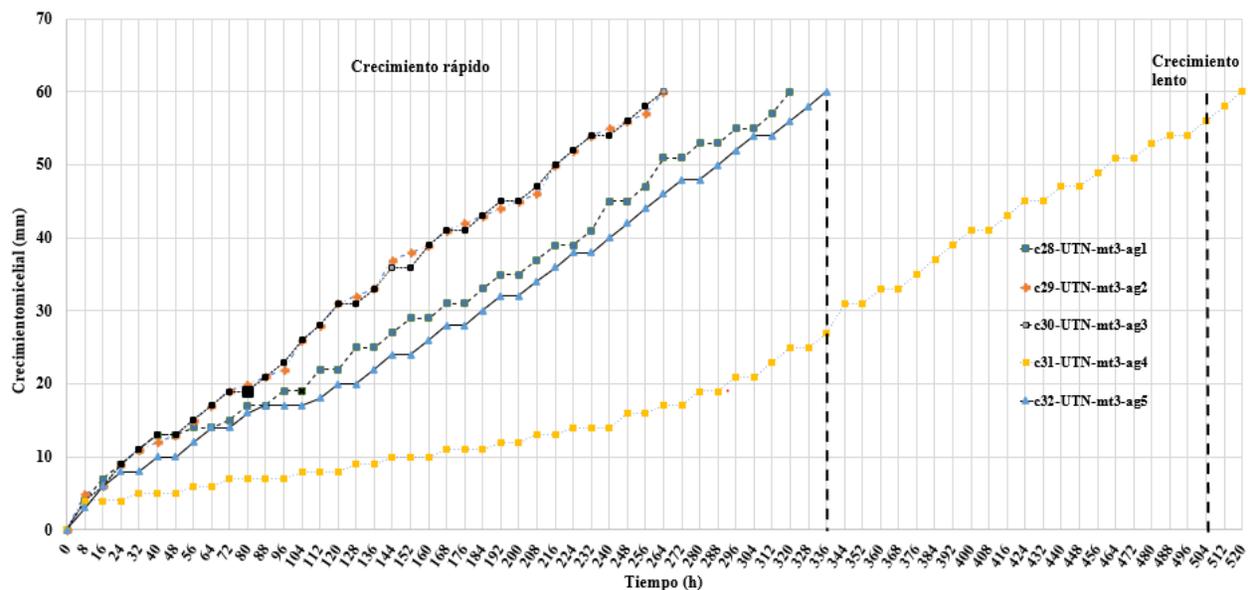


Según Arias y Piñeros (2008) manifiestan que el género *Penicillium* en el medio de cultivo Agar Dextrosa Sabouraud con Cloranfenicol a una temperatura de 25 °C su crecimiento de la colonia fue de 10 mm en los 7 días. Mientras que en esta investigación los días fueron mayores porque una cepa alcanzó los 60 mm de diámetro a los 18 días. Además, Chi (2020) mencionan que el género *Rhizopus* presentó un crecimiento lento debido a que necesitó 19 días para alcanzar 60 mm de la placa Petri. Además, en la presente investigación los dos hongos de este género requirieron 22 días para alcanzar los 60 mm de diámetro micelial.

En la Figura 35 se observa el tiempo y su crecimiento de las 5 cepas de hongos aisladas en el agroecosistema agroecológico que necesitan para ocupar las 2/3 partes de la placa. Además, 4 hongos *Rhizopus* (mt3ag1), *Scopulariopsis* (mt3ag2), *Rhizopus* (mt3ag3), *Aspergillus* (mt5ag5) presentaron un crecimiento rápido debido a que el tiempo requerido es de 264 a 336 horas para alcanzar los 60 (mm) diámetro de la colonia. La cepa restante *Rhizopus* (mt3ag4) tiene un crecimiento lento ya que ocupó 520 horas en ocupar la medida propuesta en la investigación.

Figura 35

Crecimiento del micelio de los hongos aislados por diluciones seriadas en el agroecosistema agroecológico



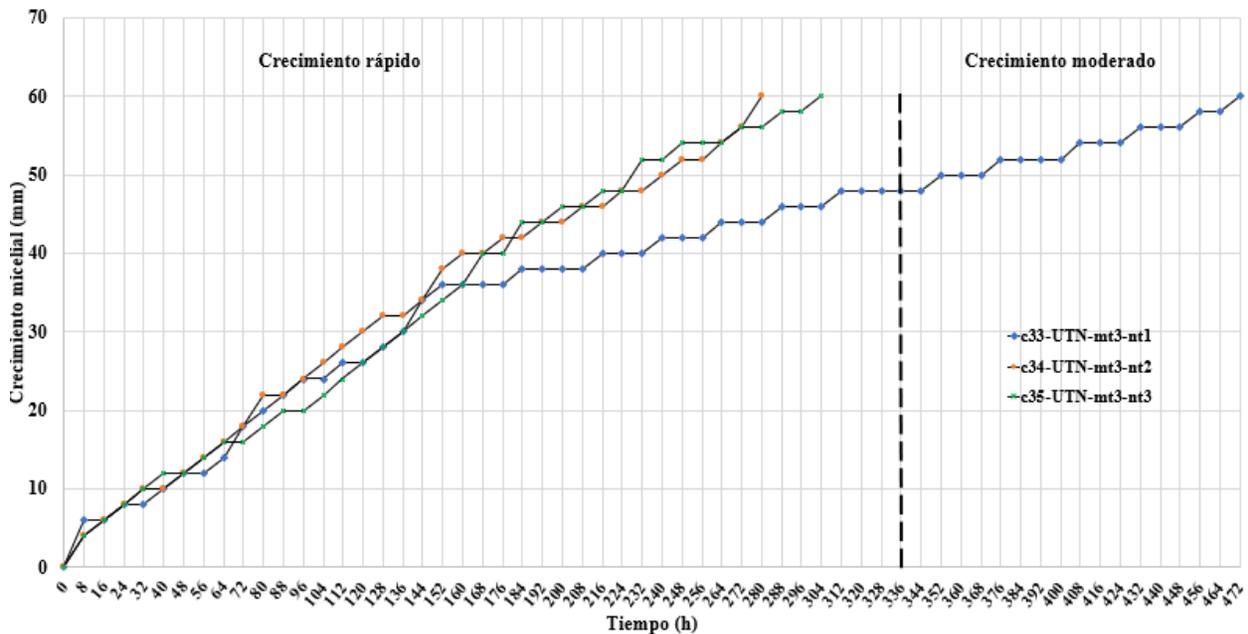
Según Arias y Piñeros (2008) mencionan que el generó *Rhizopus* en el cultivo Agar Dextrosa Sabouraud con Cloranfenicol a una temperatura de 25 °C a los 10 días alcanzó un diámetro de colonia de 60 mm. Mientras que en la presente investigación necesitó un mayor tiempo 11 días para llegar a los 60 mm de diámetro micelial. El generó *Rhizopus* con las características experimentales mencionadas anteriormente, el crecimiento de la colonia fue de 15 mm en los 7 días. Mientras que en la investigación fue de 60 mm de crecimiento micelial a los 7 días.

En la Figura 36 se observa el tiempo que necesita cada hongo en ocupar las 2/3 partes de la placa Petri y de acuerdo con esto categorizar su crecimiento micelial. Además, dos hongos *Rhizopus*

(mt3nt2) y *Fusarium* (mt3nt3) aislados en este agroecosistema presentaron un crecimiento rápido porque necesitaron de 280 a 304 horas para ocupar los 60 mm de diámetro micelial. Mientras que, el otro hongo *Rhizopus* (mt3nt1) tiene un crecimiento moderado ya que ocupó 472 horas en ocupar los 60 mm de diámetro micelial.

Figura 36

Crecimiento del micelio de los hongos aislados por diluciones seriadas en el agroecosistema natural



Según Arias y Piñeros (2008) manifiestan que el género *Rhizopus* y *Aspergillus* dentro del cultivo Agar Dextrosa Sabouraud con Cloranfenicol a una temperatura de 25 °C, su crecimiento de la colonia fue de 15 mm en los 7 días. Mientras que en la presente investigación fue mayor ya que el género *Rhizopus* ocupó de 12 a 13 días para alcanzar los 60 mm. Además, el género *Aspergillus* spp. de igual manera necesitó de un tiempo mayor fue de 21 mm a los 7 días y terminando a los 20 días con los 60 mm de diámetro de colonia.

4.5. Índice de biodiversidad fúngica (índice de riqueza)

En base a lo que menciona Moreno (2001) el índice de riqueza revela que el número total de hongos aislados fue de 35, los cuales se distribuyeron de la siguiente manera: Mediante la siembra directa se logró aislar un total de nueve especies fúngicas, de las cuales seis se encontraron en el

agroecosistema agroecológico, dos en el convencional y una en el natural. Por otro lado, la técnica de trampas microbianas permitió detectar 14 hongos, distribuidos principalmente en el agroecosistema natural (siete especies), seguido del agroecológico (cinco) y del convencional (tres). Por su parte, las diluciones seriadas permitieron identificar 11 especies, con una distribución de cinco en el agroecosistema agroecológico, tres en el convencional y una en el natural.

La segunda metodología (trampas microbianas) mostró la mayor cantidad de hongos aislados (14 especies), lo cual coincide con estudios previos que destacan la eficacia de esta técnica para capturar hongos del suelo con mayor precisión debido a su capacidad para simular ambientes óptimos para el desarrollo de microorganismos (Gómez et al., 2020). Esta metodología es especialmente eficiente en la captura de hongos saprófitos y simbioses presentes en el suelo (Smith & Read, 2008).

Por otro lado, se observó que el agroecosistema agroecológico presentó una mayor riqueza con 16 hongos en comparación con los agroecosistemas convencional y natural. La presencia de 16 hongos está relacionada con la diversidad de prácticas sostenibles aplicadas en agroecosistemas agroecológicos, como la rotación de cultivos y el uso de abonos orgánicos. Estas prácticas favorecen la heterogeneidad del suelo y, por ende, la diversidad microbiana (Altieri, 2018). Investigaciones realizadas por Barea et al. (2011) señalan que los sistemas agroecológicos promueven mayores asociaciones simbióticas entre hongos y plantas, lo que incrementa la biodiversidad del suelo.

En contraste, el agroecosistema convencional mostró una riqueza de ocho hongos en todas las metodologías. Esto podría explicarse por el uso intensivo de agroquímicos y prácticas que afectan negativamente la estructura y función de las comunidades microbianas del suelo (Pimentel et al., 2015). La disminución de hongos en estos sistemas ha sido reportada en estudios donde el uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas reduce la actividad biológica del suelo (Verbruggen et al., 2012).

Por último, el agroecosistema natural con un total de 11 hongos en las tres metodologías, estos sistemas al no estar intervenidos suelen albergar hongos especializados en nichos específicos (Tedersoo et al., 2014). Sin embargo, su riqueza se debe a la baja disponibilidad de nutrientes, típica de suelos no manejados.

4.6. Índice de similitud Jaccard

En base a las observaciones de campo y los análisis de laboratorio, se identificaron las siguientes especies fúngicas en los agroecosistemas estudiados.

Tabla 4

Posibles especies identificadas por agroecosistema

Agroecosistema Agroecológico	Agroecosistema convencional	Sistema natural
<i>Rhizopus</i>	<i>Rhizopus</i>	<i>Rhizopus</i>
<i>Fusarium</i>	<i>Absidia</i>	<i>Fusarium</i>
<i>Absidia</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Absidia</i>
<i>Aspergillus</i>		<i>Aspergillus</i>
<i>Geotrichum</i>		<i>Geotrichum</i>
<i>Scopulariopsis</i>		
<i>Mucor</i>		

A continuación, se detalla los cálculos realizados para cada par de agroecosistemas:

4.6.1 Convencional vs Agroecológico

a = 7 (agroecológico)

b = 3 (convencional)

c = 2 (géneros comunes: *Rhizopus*, *Absidia*)

$$J = \frac{2}{7 + 3 - 2} = \frac{2}{8} = 0.25$$

Este valor representa la menor similitud entre los agroecosistemas evaluados, lo que indica una baja coincidencia en la composición fúngica del suelo. Este resultado sugiere que el agroecosistema agroecológico alberga una mayor diversidad específica, con especies que no se encuentran en el sistema convencional. Esto puede explicarse por las prácticas sostenibles aplicadas en los sistemas agroecológicos, como la ausencia de agroquímicos y el uso de abonos orgánicos, que fomentan la formación de nichos ecológicos más diversos. En estudios similares,

Hernández et al. (2021) también reportaron índices bajos entre estos dos tipos de sistemas, lo cual refuerza la idea de que el manejo agroquímico intensivo reduce la biodiversidad del suelo.

4.6.2 Convencional vs Natural

a = 5 (natural)

b = 3 (convencional)

c = 2 (géneros comunes: *Rhizopus*, *Penicillium*)

$$J = \frac{2}{5 + 3 - 2} = \frac{2}{6} = 0.33$$

Este valor, aunque no alto, indica una similitud moderada entre el agroecosistema convencional y el ecosistema natural. La explicación más probable es la presencia de especies fúngicas generalistas como *Rhizopus* y *Penicillium*, que son conocidas por su capacidad de adaptación a condiciones adversas y su versatilidad ecológica (Zhang et al., 2019). Estos géneros pueden sobrevivir tanto en suelos alterados como en ambientes naturales, lo que explicaría su presencia en ambos sistemas. No obstante, la riqueza total de especies sigue siendo menor en el sistema convencional. En la literatura, de Melo et al. (2017) observaron un patrón similar, donde los suelos de manejo intensivo compartían algunas especies con áreas naturales, pero con una comunidad fúngica más simplificada. Esto sugiere que, aunque algunas especies logran resistir la alteración del suelo, la composición global se ve afectada negativamente por el uso continuo de insumos químicos.

4.6.3 Agroecológico vs Natural

a = 7 (agroecológico)

b = 5 (natural)

c = 3 (géneros comunes: *Rhizopus*, *Fusarium*, *Aspergillus*)

$$J = \frac{3}{7 + 5 - 3} = \frac{3}{9} = 0.33$$

La similitud registrada entre estos dos sistemas indica que, a pesar de tratarse de ambientes distintos, ambos comparten una fracción importante de especies fúngicas, especialmente aquellas que se asocian a suelos ricos en materia orgánica y bajos en alteración química. Este resultado puede interpretarse como una convergencia ecológica, producto del uso de prácticas agrícolas que respetan el equilibrio natural del suelo, tales como el compostaje, la rotación de cultivos y el control biológico. Pérez et al. (2018) encontraron índices de similitud comparables entre sistemas agroecológicos y zonas forestales, destacando cómo el manejo sustentable favorece comunidades microbianas más complejas y funcionales.

4.7. Funciones ecológicas de los géneros de hongos aislados mediante las metodologías de estudios en sus agroecosistemas agroecológico, convencional y natural

En la Tabla 5 se observan las distintas funciones que cumplen los géneros de los diferentes hongos que se encontraron en la investigación. Además, cada uno de ellos son importantes en las interacciones biológicas del entorno que se desarrollan.

Tabla 5

Funciones ecológicas que cumplen los géneros encontrados en la investigación

Género	Funciones ecológicas	Referencias
<i>Absidia</i>	Descomposición de materia orgánica en suelos forestales y pastizales; asociada a ciclos biogeoquímicos.	Anzueto & Álvarez (2004)
<i>Rhizopus</i>	Facilita el retorno de macro nutrientes esenciales.	Minchala & Tacuri (2023)
<i>Mucor</i>	Participación en la descomposición de materia orgánica y formación de suelos.	Barrios & Sandoval (2018)
<i>Fusarium</i>	Interacción patogénica con plantas y participación en la solubilización de fosfatos.	Barea et al. (2021)
<i>Geotrichum</i>	Descomposición de materia orgánica y actividad en procesos de fermentación.	Nagamani et al. (2017)
<i>Penicillium</i>	Contribuye a la mineralización de nutrientes como nitrógeno y azufre, facilitando su absorción por las plantas.	Anzueto & Álvarez (2004)
<i>Scopulariopsis</i>	Promueve la descomposición de residuos orgánicos y participa en las redes biológicas en las redes microbianas.	Jia et al. (2024)
<i>Aspergillus</i>	Mejora en la eficiencia del suelo para proveer nutrientes a los cultivos.	Barrios & Sandoval (2018)
<i>Cladobotryum</i>	Antagonista de otros hongos en suelos agrícolas, puede regular la dinámica microbiana del suelo.	Barea et al. (2011)

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En el presente estudio se identificaron un total de 35 hongos, los cuales fueron clasificados dentro de los géneros *Rhizopus*, *Absidia*, *Mucor*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladobotryum* y *Scopulariopsis*.

La riqueza de los hongos aislados en los agroecosistemas evidencia que en el agroecológico presentó siete géneros, frente a los cinco del sistema natural y tres únicamente en el convencional. Mientras que el índice de similitud Jaccard indica que estos agroecosistemas no son nada similares debido a sus valores bajos de 0.33.

A partir de la revisión bibliográfica, se identificaron las funciones ecológicas de los géneros *Absidia*, *Mucor*, *Scopulariopsis* y *Geotrichum*, los cuales intervienen en la descomposición de materia orgánica y en la regulación del microbiota del suelo. Por otra parte, *Penicillium* y *Aspergillus* destacan por su papel en la mineralización de nutrientes esenciales, favoreciendo su disponibilidad para las plantas. En el caso de *Fusarium*, aunque presenta interacciones patógenas con las plantas, también contribuye a la solubilización de fosfatos, lo que resalta su doble implicación ecológica.

5.2.Recomendaciones

Implementar prácticas agroecológicas como el uso de rotación de cultivos, asociación de cultivos e incorporación de materia orgánica mediante el uso de abonos orgánicos (estiércol y compost). Finalmente, el control biológico de plagas mediante la utilización de enemigos naturales y el uso eficiente del agua para conservar la estructura del suelo e incrementar su microbiota.

Realizar estudios complementarios que incluyan la caracterización molecular de los hongos aislados, con el fin de identificar con mayor precisión las especies presentes de los suelos evaluados.

Desarrollar programas de capacitación hacia agricultores sobre la importancia de los hongos en el suelo, la fertilidad y restauración de ecosistemas, fomentando su uso en aplicaciones agrícolas.

REFERENCIAS

- Alarcón, J., Jiménez, M. & Benítez, R. (2020). Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso. *Revista ingeniería de construcción*, 35(1), 5-20. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732020000100005>
- Alcos, V. (2020). *Capacidad biodegradativa de hongos filamentosos frente al polietileno*. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional del Altiplano] Repositorio institucional. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12254>
- Altieri, M. (2018). *Agroecology: The science of sustainable agriculture* (2nd ed.). . *CRC Press*. doi:<https://doi.org/10.1201/9780429495465>
- Álvarez, P., Torres, N., Román, D. & Guerra-Buenaño, J. (2024). Estudio de la diversidad fúngica asociada a suelos agrícolas en cinco localidades. *Polo de Conocimiento*, 9(10), 1581-1605. doi:<https://doi.org/10.23857/pc.v9i10.8196>
- Anzuetto, M. & Álvarez, J. (2004). Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agrociencia*, 38(1), 13–22. doi:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30238102>
- Arias, M. & Piñeros, M. (2008). Identificación de hongos filamentosos mediante características macroscópicas y microscópicas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 10(1), 123–130. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/776/77610107.pdf>
- Arias, P., García, F., Lobos, K. & Flores, S. (2020). Fortalezas del carácter como predictores de personalidad resistente académica y compromiso académico. *Psychology, Society, & Education*, 12(2), 19-32. doi:10.25115/psye.v10i1.2109
- Armenteras, D., González, T., Vargas, O., Meza, M. & Oliveras, I. (2020). Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú. *Caldasia*, 42(1), 1-16. doi:http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0366-52322020000100001&script=sci_arttext
- Arzanlou, M., Samadi, R., Frisvad, J., Houbraken, J. & Ghosta, Y. (2016). Two novel *Aspergillus* species from hypersaline soils of The National Park of Lake Urmia, Iran. *Mycological Progress*, 15(10), 1081–1092. doi:<https://doi.org/10.1007/s11557-016-1230-8>

- Barchuk, A., Guzmán, M., Locati, L. & Suez, L. (2020). *Manual de buenas prácticas para diseños agroecológicos*. Agris FAO.
doi:<https://agris.fao.org/search/en/providers/124857/records/67483fc16b7cc10eeb5aa748>
- Barea, J., Palenzuela, J., Cornejo, P., Sánchez, I., Navarro, C., Lopéz, A. & Azcón, C. (2011). Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain. *Journal of Arid Environments*, 75(12), 1292–1301.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.06.005>
- Barrios, M. & Sandoval, J. (2018). Participación en la descomposición de materia orgánica y formación de suelos. *Revista Científica Agroecosistemas*, 5(3), 54–62.
doi:<https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/141>
- Bover, K. & Suárez, J. (2020). Contribución del enfoque de la agroecología en el funcionamiento y estructura de los agroecosistemas integrados. *Pastos y Forrajes*, 43(2), 102–111.
doi:http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942020000200102&script=sci_arttext
- Carreño, G. & Quijije, G. (2022). *Diversidad de hongos filamentosos asociados al suelo del Bosque Protector la Prosperina* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral] Repositorio institucional.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/53099>
- Cestonaro, L., Garcia, S., Nascimento, S., Gauer, B., Sauer, E., Göethel, G. & Arbo, M. (2020). Biochemical, hematological and immunological parameters and relationship with occupational exposure to pesticides and metals. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 29291–29302. doi:<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-09203-3>
- Chávez, I., Zelaya, L., Cruz, C., Rojas, E., Ruíz, S. & Santos, S. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1423–1436.
doi:https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342020000601423&script=sci_arttext

- Chao, A., Chazdon, R., Colwell, R. & Shen, T. (2005). A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecology Letters*, 8(2), 148–159. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00707.x>
- Chen, B. & Grinfeld, M. (2024). Decomposing diversity into measures of evenness, similarity, and richness. *Ecology and Evolution*, 14(2). <https://doi.org/10.1002/ece3.10952>
- Chi, C. (2020). *Diversidad de hongos endófitos asociados a una variedad comercial de carica papaya L. en la Península de Yucatán*. [Tesis de Posgrado, Centro de Investigación Científica Yucatán] Archivo digital. https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1655/1/PCB_M_Tesis_2020_Lucia_Chi_Chi.pdf
- Cruz, M., Zamudio, M., Corona, A., González, J. & Rojas-Herrera, R. (2019). Importancia y estudios de las comunidades microbianas en los recursos y productos pesqueros. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2(4), 99-115. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282015000100008
- Daza, Y. (2020). *Apropiación humana de la producción primaria neta en sistemas de agricultura ecológica y convencional*. [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional de Colombia] Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77670>
- Melo, G., Magalhaes, A., de Carvalho Neto, D. & Socol, C. (2017). How microbial diversity of soil and organic amendments affect the sustainability of coffee production: A critical review. *Critical Reviews in Microbiology*, 43(4), 456–471. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2016.1191013>
- Ekwoadu, T. & Mwanza, M. (2023). Fusarium Fungi Pathogens, Identification, Adverse Effects, Disease Management, and Global Food Security: A Review of the Latest Research. *Agriculture*, 13(9), 1810. doi:<https://doi.org/10.3390/agriculture13091810>
- Esquer, J. (2020). *Manual de probióticos*. Ergon. doi:<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=EnQLEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA15>

&dq=estos+microorganismos+en+el+h%C3%A1bitat+2020&ots=sCWKV3HUIJ&sig=4wLHdRwBu1yK95ea6PCHrONrQn0

- FAO. (2015). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*.
Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/about/about-fao/es/#:~:text=La%20FAO%20es%20la%20agencia,una%20vida%20activa%20y%20sana.>
- Gómez, D., Pérez, M. & Truffín, C. (2020). Microbiological diagnosis in a patient with chromomycosis. *Medicentro*, 24(3), 692-699.
doi:http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1029-30432020000300691&script=sci_arttext&tlng=pt
- González, B., Rocha, M. & Pérez-Vidal, H. (2024). Contaminación y deficiencia de la calidad por uso de suelos agrícolas: una revisión cualitativa. *Journal of Basic Sciences*, 10(27), 58-64.
doi:<https://revistas.ujat.mx/index.php/jobs/article/view/6331>
- Gryganskyi, A., Golan, J., Dolatabadi, S., Mondo, S., Robb, S. & Idnurm, A. (2018). Phylogenetic and Phylogenomic Definition of *Rhizopus* Species. *G3 (Bethesda)*, 8(6).
doi:10.1534/g3.118.200235.
- Heredia, G. (2020). La importancia de los hongos (Fungi) en los servicios ecosistémicos. *Bioagrociencias*, 13(2), 98-108.
doi:<https://pdfs.semanticscholar.org/b4ea/3684a79a733459f23af44a8ce83c9de7509c.pdf>
- Hernández, M., Torres, C. & Zavala, M. (2021). Diversidad fúngica en suelos agrícolas bajo distintos manejos agroecológicos en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(6), 1233–1247. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2882>
- Hernández, E., Anducho, M., Díaz, G. & Tellez, A. (2023). Modelado del crecimiento durante la detoxificación de residuos de café por hongos filamentosos. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10. doi:https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282023000400001&script=sci_arttext
- Jia, X., Li, M., Zhang, Q., Jia, M., Hong, L., Zhang, S., Wang, Y., Luo, Y., Wang, T., Ye, J., & Wang, H. (2024). Analysis of rhizosphere soil microbial diversity and its functions between

- Dahongpao mother tree and cutting Dahongpao. *Frontiers in plant science*, 15, 36.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1444436>
- Kitikidou, K., Milios, E., Stampoulidis, A., Pipinis, E. & Radoglou, K. (2024). Using Biodiversity indices effectively: Considerations for Forest Management. *Ecologies*, 5(1), 42–51.
<https://doi.org/10.3390/ecologies5010003>
- Kumar, A., Sharma, A. & Singh, R. (2021). Identification and characterization of soil fungi: Traditional approaches and recent advances. . *Archives of Microbiology*, 203(9), 5293–5305. doi: <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02413-4>
- Mancheno, A. (2020). Dermatofitosis en niños, sus complicaciones en la salud y tratamientos. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 5(12), 90-110.
doi:<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8042570>
- Milic, M., Vasileiou, Z. & Papanikolaou, S. (2022). Genomic insights into the evolution and adaptation of secondary metabolite gene clusters in fungicolous species *Cladobotryum mycophilum* ATHUM6906. *Frontiers in Microbiology*., 13, 10989895.
doi:<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.10989895>
- Minchala, E. & Tacuri, C. (2023). *Determinación por taxonomía molecular de hongos contaminantes persistentes en el laboratorio de biotecnología vegetal*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana] Repositorio institucional
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25580>
- Moreira, E. & Díaz, M. (2021). Arbolado urbano de la zona metropolitana de Asunción (Paraguay) y hongos descomponedores asociados. *CEDAMAZ*, 11(2), 93-98.
doi:<https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/1176>
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la Biodiversidad* (Vol. 1). M&T – Manuales y Tesis SEA.
doi:<http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Nagamani, S., Kumar, R. & Singh, P. (2017). Descomposición de materia orgánica y actividad en procesos de fermentación. *Revista Internacional de Ciencias Ambientales*, 12(2), 45-59.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rica.2017.03.004>

- Nuñez, W., Sotomayor, D., Ballardo, C. & Herrera, E. (2023). Potencial de la biomasa fúngica: producción y mecanismos de biorremediación de metales pesados del compost de residuos sólidos orgánicos municipales. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), 79-90. doi:http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172023000100079&script=sci_abstract
- Nyongesa, B., Okoth, S. & Ayugi, V. (2015). Identification key for *Aspergillus* species isolated from maize and soil of Nandi County, Kenya. *Advances in Microbiology*, 5(4), 205–218. doi:<https://doi.org/10.4236/aim.2015.54020>
- Ortiz, L. (2016). *Biodiversidad fúngica en el suelo del Bosque Protector Aguarongo, provincia del Azuay - Ecuador* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12814>
- Pacasa, F., Loza, M., Bonifacio, A., Vино, L. & Serrano, T. (2017). Comunidad de hongos filamentosos en suelos del Agroecosistema de K'iphak'iphani, Comunidad Choquenaira-Viacha. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 8(1), 2-25. doi:<https://www.redalyc.org/pdf/3613/361349918002.pdf>
- Parrilla, E., de la Rosa, L., Martínez, N. & Aguilar, G. (2007). Fenolestotales y capacidad antioxidante de hongos comerciales y silvestres de Chihuahua, México. . *Ciencia y tecnología alimentaria: Revista de la Asociación de Licenciados en Ciencia y Tecnología de los Alimentos de Galicia*, 5(5), 329-334. doi:<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2748528>
- Pérez, D. & Zárate, M. (2018). *Determinación de la flora micológica del maíz seco y su harina en la parroquia San Juan - Cantón Gualaceo*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca] Repositorio institucional. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/479>
- Pérez, J., Mendes, R. & Raaijmakers, J. (2018). Impact of plant domestication on rhizosphere microbiome assembly and functions. *Plant Molecular Biology*, 97(3), 247–260. <https://doi.org/10.1007/s11103-018-0727-4>
- Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D. & Seidel, R. (2005). Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. . *Bioscience*, 55(7), 55(7), 573-582. doi: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0573:EEAECO\]2.0](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0573:EEAECO]2.0).

- Rodriguez, J. (2020). *Desarrollo de medios de cultivo artesanal para el Crecimiento del hongo Pleurotus pulmonarius. Santiago de Cali.* Universidad Autonoma de occidente. Obtenido de https://redcol.minciencias.gov.co/Record/REPOUAO2_b26063864fcfcfe0d3f3af60bdf7d72e/Details
- Rodríguez, M., Aramendía, A. & Rodríguez, A. (2019). *Métodos didácticos para análisis de suelos.* Logroño: Universidad de La Rioja.
- Rúa-Giraldo, Á. (2023). Taxonomía de los hongos: un rompecabezas al que le faltan muchas piezas. *Biomédica*, 43, 288-311. doi:http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-41572023000500288&script=sci_arttext
- Silva, L., Rodrigues, M. & Santos, J. (2020). Diversity of culturable soil fungi in agroforestry systems and their potential for bioactive compounds production. *Journal of Fungi*, 6(4), 273. doi: <https://doi.org/10.3390/jof6040273>
- Smith, S. & Read, D. (2008). Mycorrhizal Symbiosis (3rd ed.). . *Academic Press.*, 1-787. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6>
- Sosa, O., Romero, M., Silva, J., Gaibor, R., Rodríguez, S. & Ceiro, W. (2022). Caracterización cultural-morfométrica como herramienta para la identificación de *Fusarium* spp., asociado a *Nicotiana tabacum* L. *Agronomía Costarricense*, 111–128. doi:<https://doi.org/10.15517/rac.v46i1.49872>
- Socarrás, A. (2013). Mesofauna edáfica: Indicador biológico de la calidad del suelo. *Pastos y Forrajes* 36(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942013000100001&lng=es&tlng=es.
- Suárez, L. & Peñaranda, F. (2022). Identificación molecular de hongos filamentosos y su potencial biotecnológico. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 20(1), 194-206. doi:http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612022000100194&script=sci_arttext
- Tedersoo, L., May, T. & Smith, M. (2014). Ectomycorrhizal lifestyle in fungi: Global diversity, distribution, and evolution of phylogenetic lineages. *Mycorrhiza*, 24(5), 371404. doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0486-2>

- Tovar, S., Cuéllar, L. & Suárez, L. (2020). Importancia de la biota edáfica para la productividad en agroecosistemas. *Revista Nova*, 6, 27-38. doi:<http://revistas.sena.edu.co/index.php/rnova/article/view/3681>
- Troncoso, S. (2020). *Diversidad de macrohongos en áreas desérticas del norte grande de Chile* [Tesis de pregrado, Universidad de Concepción] Repositorio institucional <https://repositorio.udec.cl/server/api/core/bitstreams/448c3926-1c5a-40d4-9af6-5ed4606ae143/content>
- Verbruggen, E., Roling, W., Gamper, H., Kowalchuk, G., Verhoef, H. & Van der Heijden, M. (2012). Positive effects of organic farming on below-ground mutualists: large-scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils. *New Phytologist*, 186(4), 968–979. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03230.x>
- Villacís, P. (2024). *Caracterización morfológica y molecular de hongos filamentosos asociados a los suelos del sector de Horticultura y Fruticultura de la Hacienda “El Prado” - IASA I, para el establecimiento de una línea base con fines de biorrestauración*. [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas] Repositorio institucional. <https://repositorio.espe.edu.ec/items/9039032b-9d7b-4950-9bf8-a3aa65ddf6f8>
- Zapata, C., Paladines-Montero, A., León-Reyes, A. & Ramírez-Villacís, D. (2022). Caracterización del microbioma de plantas de banano (*Musa* × *paradisíaca* L.) bajo sistemas de producción orgánico y convencional. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 14(2). doi:<https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/2298>
- Zhang, H., Sun, L., Zhang, W. & Zhou, S. (2019). Ecological roles of *Rhizopus* and *Penicillium* in polluted and non-polluted soils: A review. *Environmental Reviews*, 27(4), 424–432. <https://doi.org/10.1139/er-2018-0071>
- Zúñiga-Castro, K. & Quirós-Cedeño, G. (2021). Los hongos como elementos clave en la productividad del suelo, la agricultura y el bienestar social. *Biocenosis*, 32(1), 46-58. doi:<https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/download/3548/4567>

ANEXOS

Anexo 1

Ficha de datos para la toma de muestra de suelo

INFROMACIÓN DE LA FINCA	CROQUIS
Fecha de recolección:	
Comunidad:	
Cantón:	
Provincia:	
Altitud msnm:	
Forma del lote:	
Pendiente %:	
Cultivo anterior:	
Cultivo actual:	
Agroecosistema:	
Área del terreno:	
Observaciones:	