



Estudio de la diversidad fúngica asociada a suelos agrícolas en cinco localidades de santa cruz provincia de galápagos

Study of fungal diversity associated with agricultural soils in five localities of Santa Cruz province of Galapagos

Estudo da diversidade fúngica associada a solos agrícolas em cinco localidades da província de Santa Cruz, Galápagos

Pablo Israel Álvarez-Romero ^I
pabloi.alvarez@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0743-5210>

Nicole Carolina Torres-Revelo ^{II}
nicole.torres.revelo@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8633-1502>

Daniel Arturo Román-Robalino ^{III}
daniel.roman@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9172-3201>

Juan Luis Guerra-Buenaño ^{IV}
juan.guerra@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6499-433X>

Correspondencia: pabloi.alvarez@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 12 de agosto de 2024 * **Aceptado:** 24 de septiembre de 2024 * **Publicado:** 23 de octubre de 2024

- I. PhD en Ciencias en Fitopatología, Máster en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, mención en Mejoramiento y Sanidad Vegetal, Ingeniero Agrónomo, Profesor-Investigador en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)-Facultad de Recursos Naturales, Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniera Agrónoma, Investigadora Independiente, Ecuador.
- III. Magíster en Agricultura Sostenible, Ingeniero Agrónomo, Profesor-Investigador en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Recursos Naturales, Riobamba, Ecuador.
- IV. Ingeniero Forestal, Técnico de Proyectos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Recursos Naturales, Riobamba, Ecuador.

Resumen

La presente investigación buscó determinar la diversidad fúngica asociada a la rizosfera de suelos agrícolas de cinco localidades de Santa Cruz, Provincia de Galápagos. Muestras de suelo de las localidades Camino Viejo, El Cascajo, Media Luna, Media Luna Bosque no intervenido y La Fortuna, correspondientes a los cultivos de kale, café, melón, tomate, maíz amarillo, pimiento y bosque fueron colectadas. Se realizó aislamiento de colonias fúngicas mediante diluciones seriadas, las características culturales (forma, elevación, borde y superficie) fueron registradas, agrupando los aislados por morfotipos. La caracterización morfológica se realizó mediante microcultivos y la caracterización molecular, mediante la secuenciación de la región Internal Transcribed Spacer (ITS). Se aislaron un total de 2273 microorganismos fúngicos. Los géneros predominantes del total de aislados fueron: *Aspergillus* sp. (43,86%), *Fusarium* sp. (18,35%), *Gibellulopsis* sp. (11,88%), *Trichoderma* sp. (7,17%), mientras en menor proporción se encontraron los géneros *Galactomyces* sp. (0,09%), *Robillarda* sp. (0,04%), *Paramyrothecium* sp. (0,04%), *Staphylotrichum* sp. (0,04%). Además, se presentó un género sin clasificar, el cual pertenece al orden *Chaetothyriales* (1,14%), y los géneros no identificados representaron el 3,43%. La riqueza de especies y los índices de diversidad de Shannon y Simpson mostraron que el suelo más diverso correspondió a la localidad de Media Luna, que pertenecía al bosque no intervenido. Adicionalmente, Camino Viejo obtuvo mayor diversidad Shannon y El Cascajo registró la mayor diversidad de Simpson. Finalmente, la menor diversidad de especies se registró en La Fortuna. Este estudio permite mostrar la biodiversidad existente en la rizosfera de cultivos de las Islas Galápagos.

Palabras clave: hongos; rizosfera; suelos agrícolas; biodiversidad.

Abstract

The present investigation sought to determine the fungal diversity associated with the rhizosphere of agricultural soils from five locations in Santa Cruz, Galapagos Province. Soil samples from the localities Camino Viejo, El Cascajo, Media Luna, Media Luna Bosque unintervened and La Fortuna, corresponding to the crops of kale, coffee, melon, tomato, yellow corn, pepper and forest were collected. Isolation of fungal colonies was carried out through serial dilutions, the cultural characteristics (shape, elevation, edge and surface) were recorded, grouping the isolates by morphotypes. Morphological characterization was carried out through microcultures and molecular

characterization through sequencing of the Internal Transcribed Spacer (ITS) region. A total of 2273 fungal microorganisms were isolated. The predominant genera of the total isolates were: *Aspergillus* sp. (43.86%), *Fusarium* sp. (18.35%), *Gibellulopsis* sp. (11.88%), *Trichoderma* sp. (7.17%), while the genera *Galactomyces* sp. (0.09%), *Robillarda* sp. (0.04%), *Paramyrothecium* sp. (0.04%), *Staphylotrichum* sp. (0.04%). In addition, an unclassified genus was presented, which belongs to the order Chaetothyriales (1.14%), and unidentified genera represented 3.43%. The species richness and the Shannon and Simpson diversity indices showed that the most diverse soil corresponded to the Media Luna locality, which belonged to the undisturbed forest. Additionally, Camino Viejo obtained the highest Shannon diversity and El Cascajo recorded the highest Simpson diversity. Finally, the lowest species diversity was recorded in La Fortuna. This study allows us to show the biodiversity existing in the crop rhizosphere of the Galapagos Islands.

Keywords: fungi; rhizosphere; agricultural soils; biodiversity.

Resumo

A presente investigação procurou determinar a diversidade fúngica associada à rizosfera de solos agrícolas de cinco locais em Santa Cruz, província de Galápagos. Foram coletadas amostras de solo das localidades Camino Viejo, El Cascajo, Media Luna, Media Luna Bosque não interveniente e La Fortuna, correspondentes às culturas de couve, café, melão, tomate, milho amarelo, pimenta e floresta. O isolamento das colônias fúngicas foi realizado através de diluições seriadas, foram registradas as características culturais (forma, elevação, borda e superfície), agrupando os isolados por morfotipos. A caracterização morfológica foi realizada através de microculturas e a caracterização molecular através de sequenciamento da região do Espaçador Interno Transcrição (ITS). Um total de 2.273 microrganismos fúngicos foram isolados. Os gêneros predominantes do total de isolados foram: *Aspergillus* sp. (43,86%), *Fusarium* sp. (18,35%), *Gibellulopsis* sp. (11,88%), *Trichoderma* sp. (7,17%), enquanto os gêneros *Galactomyces* sp. (0,09%), *Robillarda* sp. (0,04%), *Paramyrothecium* sp. (0,04%), *Staphylotrichum* sp. (0,04%). Além disso, foi apresentado um gênero não classificado, pertencente à ordem Chaetothyriales (1,14%), e os gêneros não identificados representaram 3,43%. A riqueza de espécies e os índices de diversidade de Shannon e Simpson mostraram que o solo mais diversificado correspondia à localidade Media Luna, que pertencia à floresta intacta. Além disso, Camino Viejo obteve a maior diversidade de Shannon e El Cascajo registrou a maior diversidade de Simpson. Finalmente, a menor diversidade

de espécies foi registrada em La Fortuna. Este estudo permite-nos mostrar a biodiversidade existente na rizosfera agrícola das Ilhas Galápagos.

Palavras-chave: fungos; rizosfera; solos agrícolas; biodiversidade.

Introducción

Los microorganismos son los componentes más importantes del suelo, conforman uno de los grupos de organismos más diversos y abundantes que existen sobre la tierra, cumplen funciones determinantes en la transformación de los componentes orgánicos e inorgánicos (Wu et al., 2024), pero en los suelos agrícolas pertenecientes a la Isla Santa Cruz se desconoce todas las funciones que estos desempeñan. Además, en el suelo desempeñan un rol central, tanto en el mantenimiento de su estructura como en procesos ecológicos clave como el ciclado de nutrientes y la descomposición de materia orgánica (Beltrán Pineda et al., 2017). La composición de la comunidad fúngica del suelo puede variar de un lugar a otro en respuesta a diversos factores. En los suelos agrícolas, los agroquímicos y sus residuos pueden producir cambios en las comunidades fúngicas (Marcos Valle et al., 2019).

Los hongos del suelo juegan un papel importante en los procesos de descomposición, mineralización y reciclaje de nutrientes de las plantas (Julca-Otiniano et al., 2006), también producen metabolitos secundarios que pueden ser utilizados en la industria para la producción de antibióticos, alcoholes y ácidos orgánicos, además participan en la degradación de xenobióticos y contaminantes orgánicos introducidos en el suelo (Pérez-Urria Carril & Ávalos García, 2009). Los principales factores que afectan a los hongos en el suelo son: el nivel, el tipo de materia orgánica, el pH, la aplicación de algún tipo de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, el contenido de humedad, la aireación, variación de temperatura y la composición de la vegetación nativa o cultivada (Sanchez-Yañez et al., 2007). (Barrios & Sandoval, 2018). (Naranjo-Ortiz & Gabaldón, 2019)manifiestan que los hongos constituyen el segundo grupo de microorganismos del suelo, además todos son eucariotas, heterótrofos, necesitan nitrógeno y tiene capacidad fijadora. Las especies edáficas presentan gran diversidad en cuanto a exigencias en sustratos carbonados, variando desde los que pueden utilizar hidratos de carbono, alcoholes y ácidos orgánicos sencillos hasta los que son capaces de descomponer compuestos polimerizados, como la celulosa y la lignina (Iram et al., 2021).

Uno de los hongos más significativos para las plantas son los Hongos Micorrízicos Arbusculares (AMF) los cuales contribuyen en la formación de agregados en el suelo y aporte de nutrientes como el fósforo, donde las hifas (filamentos ramificados que crecen hacia la superficie exterior) aprovechan el carbón orgánico como reservorio de nutrientes favoreciendo un mayor crecimiento de las plantas (Begum et al., 2019). Las proteínas producidas por los AMF contienen altas concentraciones de hierro el cual actúa como un estabilizador de los agregados edáficos, ya que une las partículas minerales con la materia orgánica (He et al., 2020).

Se demostró experimentalmente que la introducción de antagonistas específicos como *Trichoderma* spp. o *Coniothyrium minitans* tienen la posibilidad de minimizar la incidencia de una diversidad de patologías en el suelo (BUDGE & WHIPPS, 2007). Los hongos son los causantes de la degradación de xenobióticos y contaminantes orgánicos introducidos en el suelo, igualmente conforman una gran parte de la mesofauna del suelo (Barratt et al., 2003), Además, el mantenimiento de la diversidad de hongos del suelo favorece de manera directa la agricultura sostenible, por medio del abastecimiento de nutrientes, una mejor composición física del suelo y el control de antagonistas de los patógenos de las plantas en el suelo (Gohel et al., 2022).

El presente trabajo por medio del aislamiento de microorganismos, su caracterización e identificación y su comparación poblacional buscó determinar la diversidad fúngica asociada a suelos agrícolas de Santa Cruz, Provincia de Galápagos.

Materiales y métodos

Ubicación

La presente investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo sede central Riobamba.

Aislamiento

Se colectaron muestras de suelo provenientes de las localidades Camino viejo (cultivo de kale), El Cascajo (cultivo de melón, tomate y pimiento), Media Luna (cultivo de maíz amarillo y café variedad Catimor), Media Luna bosque no intervenido y La Fortuna (cultivo de café variedad típica), todos estos sectores localizados en las Islas Galápagos.

El aislamiento se realizó mediante la técnica de diluciones seriadas y siembra en placa mediante esparcimiento de la muestra de suelo. Se inicia con la preparación de una solución salina al 0,85%

(2,13 g de cloruro de sodio + 250 mL de agua destilada), esterilizada en autoclave a 120 °C durante aproximadamente 60 minutos. Luego, se agrega 27,77 g de la muestra de suelo a la solución y se agita orbitalmente a 25 °C, a 160 rpm, durante 24 horas.

Se crearon diluciones blancas agregando 9 mL de agua destilada estéril en tubos de ensayo y luego añadiendo 1 mL de la solución madre para obtener una dilución de 10⁻¹. De esta dilución, se sembraron muestras de suelo de diferentes localidades en medio de cultivo PDA + Cloramfenicol (5%) y Estreptomicina (1%), con 50 µL de la dilución cada una, expandiéndolas con una espátula Drigalsky. Las cajas se sellaron con papel parafilm, se etiquetaron y se incubaron a 28 °C en oscuridad durante 10 días, monitoreando el crecimiento de hongos cada 24 horas.

Posteriormente se utilizó la metodología de (Alfenas & Mafia, 2016) para la obtención de cultivos monospóricos en donde se empleó el micelio de cultivos puros de 10 días se lo llevó a vortex por 10 s hasta obtener una suspensión de esporas y se sembró la suspensión de esporas en medio de cultivo Agar + Chloramphenicol (5%) y Streptomicina (1%). Pasadas 24 h se tomó la fracción donde se encontraba una sola espora y se transfirió a una caja de Petri.

Caracterización cultural y morfológica

En la caracterización cultural se evaluaron los criterios expuestos por (Ramos, 2014) la forma (irregular, rizoide, filamentosa, circular, puntiforme), el borde (rizado, filamentoso, crenado, ondulado, entero), la elevación (efusa, plana, rizada, convexa, umbonada), la superficie (rugosa, concéntrica, radial, ondulada, lisa) y el color.

Para la caracterización morfológica se utilizó microcultivos y montaje de placas con cinta (añadiendo lactoglicerol), luego se observaron y midieron las estructuras.

Caracterización molecular

Para la caracterización molecular se realizó la extracción de ADN macerando el micelio con nitrógeno líquido y posteriormente con el micelio macerado se utilizó el kit de extracción PROMEGA Wizard® Genomic DNA propuesto por el fabricante.

Para la identificación molecular de los diferentes morfotipos obtenidos se realizó la PCR con los iniciadores:

ITS1 de secuencia 5'-CTTGGTCATTTAGAGGAAGTAA-3'

ITS4 de secuencia 3'-TCCTCCGTTATTGATATGC-5'.

Y con los siguientes reactivos:

6,25 µL de Master Mix, 2X Go Taq® Green, 1 µL (1 pmol) primer Forward (ITS1), 1 µL (1 pmol) primer Reverse (ITS4), 2,25 µL de agua ultrapura estéril y 2 µL (ng / µL) de ADN de cada uno de los aislados dando un total de 12,5 µL por cada reacción.

El programa de amplificación en el termociclador fue:

Desnaturalización inicial 95 °C durante 5 min, y 40 ciclos de las condiciones, 95 °C durante 60 s (desnaturalización), 55 °C durante 60 s (anelamiento), 72 °C durante 60 s (extensión) y finalmente se realizó una última extensión a 72 °C durante 5 min, en el termociclador.

Para comprobar la amplificación de los productos de PCR se realizó una electroforesis en gel de agarosa a una concentración de 1%. Las muestras de los productos de PCR fueron cargadas en los geles en un volumen de 2 µL, con 3 µL buffer de carga (10X BlueJuice™ Gel Loading Buffer), en el primer posillo de los geles se carga 2 µL DNA Ladder Bench Top 100 pb (PROMEGA) con 3 µL buffer de carga (10X BlueJuice™ Gel Loading Buffer) para determinar el tamaño de la cadena de ADN, por 70 min, con un voltaje de 80 voltios. Después de la electroforesis los productos de PCR fueron visualizados en un transiluminador UV.

Los productos de PCR fueron secuenciados con la tecnología SANGER de MACROGEN COREA.

Los electroferogramas se visualizaron en el programa Chromas Technelysium Pty Ltd versión 2.6.6.

La comparación de las secuencias mediante el % de identidad, de cobertura, e-value, se logró con los datos Blast del NCBI (National Center for Biotechnology Information)

Análisis de la diversidad fúngica

Los aislados caracterizados cultural, morfológica y molecularmente e identificados fueron agrupados en OTUs (Unidades Taxonómicas Operacionales). Los gráficos con la composición taxonómica de los géneros fueron realizados utilizando el programa R 4.1 (R Development Core Team) y las librerías ggplot2. Los análisis de diversidad de hongos fueron calculados utilizando los Índices de Diversidad (ID).

Resultados

Una vez analizadas las secuencias crudas se determinó la clasificación taxonómica para Phylum, Clase, Orden, Familia, Género y Especie de cada uno de los morfotipos aislados

Tabla 1. Resultado del análisis BLAS: Filo, Clase, Orden, Familia, Género y especie sugerida.

Código	Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Especie sugerida
M2	Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Aspergillaceae	Penicillium	<i>Penicillium</i> sp.
M3	Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Aspergillaceae	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus subramanianii</i>
M5	Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Aspergillaceae	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus niger</i>
M7	Ascomycota	Sordariomycetes	Hypocreales	Nectriaceae	Fusarium	<i>Fusarium oxysporum</i>
M8	Ascomycota	Sordariomycetes	Hypocreales	Nectriaceae	Fusarium	<i>Fusarium oxysporum</i>
M9	Ascomycota	Sordariomycetes	Hypocreales	Stachybotryaceae	Smaragdiniseta	<i>Smaragdiniseta bisetosa</i>
M10	Ascomycota	Sordariomycetes	Hypocreales	Nectriaceae	Fusarium	<i>Fusarium equiseti</i>
M13	Ascomycota	Sordariomycetes	Sordariales	Chaetomiaceae	Humicola	<i>Humicola pulvericola</i>
M14	Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Aspergillaceae	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus quadrilineatus</i>
M15	Ascomycota	Sordariomycetes	Sordariales	Chaetomiaceae	Chaetomium	<i>Chaetomium</i> sp.
M16	Ascomycota	Sordariomycetes	Sordariales	Chaetomiaceae	Chaetomium	<i>Chaetomium globosum</i>
M20	Ascomycota	Sordariomycetes	Hypocreales	Ophiocordycipitaceae	Purpureocillium	<i>Purpureocillium lilacinum</i>
M21	Ascomycota	Sordariomycetes	Glomerellales	Plectosphaerellaceae	Gibellulopsis	<i>Gibellulopsis nigrescens</i>
M22	Ascomycota	Eurotiomycetes	Chaetothyriales	<i>Sin clasificar</i>	<i>Sin clasificar</i>	<i>Sin clasificar</i>
M24	Ascomycota	Sordariomycetes	Hypocreales	Nectriaceae	Fusarium	<i>Fusarium</i> sp.
M25	Mucoromycota	Mortierellomycetes	Mortierellales	Mortierellaceae	Actinomortierella	<i>Mortierella capitata</i>
M26	Ascomycota	Sordariomycetes	Xylariales	Sporocadaceae	Neopestalotiopsis	<i>Neopestalotiopsis saprophytica</i>
M28	Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Aspergillaceae	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus</i> sp
M29	Ascomycota	Sordariomycetes	Hypocreales	Nectriaceae	Fusarium	<i>Fusarium falciforme</i>
M30	Ascomycota	Dothideomycetes	Pleosporales	Pleosporaceae	Alternaria	<i>Alternaria alternata</i>
M31	Ascomycota	Sordariomycetes	Xylariales	Sporocadaceae	Neopestalotiopsis	<i>Neopestalotiopsis saprophytica</i>
M33	Ascomycota	Sordariomycetes	Hypocreales	Nectriaceae	Fusarium	<i>Fusarium solani</i>
M34	Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Aspergillaceae	Penicillium	Penicillium oxalicum
M35	Ascomycota	Sordariomycetes	Xylariales	Sporocadaceae	Robillarda	<i>Robillarda</i> sp.
M36	Ascomycota	Sordariomycetes	Hypocreales	Ophiocordycipitaceae	Purpureocillium	<i>Purpureocillium</i> sp.
M39	Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Aspergillaceae	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus</i> sp
M40	Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Aspergillaceae	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus sydowii</i>

M41	Ascomycota	Saccharomycetes	Saccharomycetale s	Dipodasaceae	Galactomyces	<i>Galactomyces pseudocandidus</i>
M42	Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Aspergillaceae	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus pulvericola</i>
M47	Ascomycota	Sordariomycetes	Hypocreales	Stachybotryaceae	Paramyrotheciium	<i>Paramyrothecium roridum</i>
M48	Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Aspergillaceae	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus rugulosus</i>
M50	Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Aspergillaceae	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus terreus</i>
M54	Ascomycota	Sordariomycetes	Sordariales	Chaetomiaceae	Staphylotrichum	<i>Staphylotrichum acaciicola</i>
M55	Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Aspergillaceae	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus terreus</i>
M64	Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Aspergillaceae	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus quadrilineatus</i>
M65	Ascomycota	Eurotiomycetes	Eurotiales	Aspergillaceae	<i>Aspergillus</i>	<i>Aspergillus europaeus</i>

Caracterización de los principales morfotipos encontrados.

Género *Aspergillus*

Las colonias de los hongos aislados como *Aspergillus* sp. presentaron diferentes formas entre las cuales están la filamentosa, circular, irregular, radial, con diferente elevación como: efusa, plana, umbonada, convexa rizada y efusa, también presentaron borde filamentoso, crenado, rizado, entero, ondulado, una superficie lisa, ondulada, radial, rugosa, el color en el anverso fue variable entre los que se encuentran el café pardo, blanco, blanco con oliva, blanco con negro, gris claro, verde azulado, salmón, blanco con amarillo mostaza, de igual manera se observó variabilidad de colores en el reverso de las colonias entre los cuales se encuentran blanco amarillento, blanco cremoso, amarillo verdoso, siena, gris claro, blanco, crema, anaranjado pálido (Pantone Coated Color Reference, 2012). El tamaño de las esporas va desde 7,3 x 7,6 µm a 2,5 x 2,5µm.

Las características morfológicas que presentaron los aislados están caracterizadas por hifas hialinas septadas, de las hifas se producen los conidióforos y estos forman células onidiógenas de las cuales se forman los conidios, el conidióforo se divide en tres partes bien diferenciadas : vesícula (extremo apical hinchado), estipe (sección cilíndrica situada debajo de la vesícula) y célula pie (sección final, a veces separada por un septo, que une el conidióforo con el micelio), sobre la vesícula se disponen las fiálides, además las cabezas conidiales presenta cuatro formas básicas: globosa, radiada, columnar o claviforme.

Cabezas conidiales de color verde amarillento, no compactas y típicamente radiadas, las cuales se dividieron en varias columnas escasamente definidas, conidióforos hialinos y en ocasiones con tonalidades amarillo claro, de paredes gruesas, rugosos, localizados justo debajo de la vesícula;

vesículas alargadas cuando eran jóvenes y subglobosas a globosas o esféricas con la edad, métulas, fiálides que nacen sobre las vesículas; conidios equinulados, globosos, verdoso amarillentos. Las cabezas conidiales que sólo presentan fiálides se denominan uniseriadas, y las que presentan fiálides y métulas, biseriadas los cuales coincide con lo mencionado por (Fernández et al., 2014) además *Aspergillus* sp. es un género mitospórico que se caracteriza por la producción de hifas especializadas, denominadas conidióforos, sobre los que se encuentran las células conidiógenas que originarán las esporas asexuales o conidios. El color de la colonia varía dependiendo de la especie, verde-amarillento (*A. flavus*), negro (*A. niger*), marrón (*A. terreus*) las cuales coinciden con lo mencionado por (Lezcano et al., 2015).

Género Fusarium

La colonias presentan micelio aéreo, con diferentes formas: irregular, filamentosa y circular, además presentaron una elevación rizada, plana, convexa y efusa, mostraron borde filamentoso, crenado, rizado, ondulado, asimismo presentaron una superficie lisa, ondulada, concéntrica, radial y filamentosa, el color en el anverso no fue muy variable ya que la mayoría de aislados presentaron el color blanco, pero también se presentaron aislados de rosa y blanco con café pálido, los colores que presentó en el anverso de los aislados fueron rosa, morado, rosa con café, blanco y café pálido. El tamaño que presentaron las conidias varía desde 12 x 5 μm a 7,5 x 2,5 μm ,

Morfológicamente presentaron macroconidios de variadas formas (fusiformes, ovales, clavadas, entre otras), agrupaciones (estructuras mucoides llamadas “falsas cabezas”) en cadenas largas o cortas, de igual forma, pueden observarse las clamidosporas características con doble pared gruesa, lisa o rugosa; de manera aislada, en pareja o en grupo, además las colonias presentaron un crecimiento vigoroso, además produce clamidosporas, resistentes al secado y a las condiciones adversas, permiten que el hongo sobreviva períodos prolongados en el suelo, mientras que los conidios, se producen en un esporodoquio, que es una masa de conidióforos (tallos que contienen conidios) colocados firmemente juntos. Hay dos tipos de conidios: macroconidios (esporas grandes y multicelulares) y microconidios (esporas pequeñas y unicelulares). Los conidios generalmente no se transmiten por el aire, pero el hongo puede transmitirse por el aire en trozos de restos de plantas infectadas, en polvo o en salpicaduras de agua lo cual concuerda con lo mencionado por (Okungbowa & Shittu, 2014).

Las especies de *Fusarium* sp. son saprófitas, anamórficas que incluye cepas patogénicas y no patogénicas, comprende varios miembros patógenos de plantas que ocasionan la marchitez vascular en varias de sus etapas de crecimiento y tienen la posibilidad de desarrollar o no una etapa de reproducción sexual de acuerdo con la especie, en campo se puede identificar ya que forma heridas hundidas de color negro o marrón en la base de los tallos, además, puede manifestarse como manchas rojizas en los pecíolos cercanos a la copa de la planta y, en ocasiones se presentan masas de micelios rosadas o blancas que crecen en la base de los esquejes o en la copa de una planta (Retana et al., 2018) además tiene una distribución cosmopolita es decir que se puede encontrar en una extensa variedad de suelos como habitante natural, también se registra como patógeno en una vasta y diversa gama de plantas hospedantes con base en propiedades morfológicas (Zaccardelli et al., 2008).

Las colonias de *Fusarium* sp. infectan la planta hospedera mediante la germinación de las clamidosporas que son estructuras de resistencia que puede permanecer en el suelo por casi diez años, además la infección en la planta hospedera se origina como repuesta a exudados de raíces primarias y secundarias, luego de la germinación, las hifas se adhieren y penetran de manera directa en la epidermis, asimismo tienen la posibilidad de penetrar mediante heridas autógenas, antrópicas o por nemátodos, una vez en la planta se mueve hacia el tejido vascular por colonización intercelular de los vasos del xilema y los invade una vez que están maduros y se sitúa en ellos, coloniza los vasos del xilema por crecimiento del micelio o por medio del transporte pasivo de los microconidios producidos en estos vasos, lo que ocasiona una colonización inmediata y discontinua, al cortarse la base del cuello y durante la raíz principal, se observa que el tejido leñoso muestra una coloración marrón, gracias a dichos ataques se obstruye el paso libre de sustancias nutritivas hacia las raíces y la planta muere (Martínez-Solórzano et al., 2019).

Género Trichoderma

La colonias presentaron micelio aéreo, con formas irregular y filamentosas, además presentaron una elevación rizada, plana y efusa, su borde fue filamentosos, crenado, rizado, entero, ondulado, presentaron una superficie radial, lisa, ondulada, radial y filamentosas, el color en el anverso no fue muy variable ya que la mayoría de aislados presentaron el color blanco, pero también se presentaron aislados de color amarillo y amarillo verdoso, de igual manera no se observó mucha variabilidad de colores en el anverso de los aislados predominando el color blanco aunque también

algunas colonias presentaron el color café pálido, café rojizo, crema, amarillo pálido, blanco amarillento y amarillo brillante (Andrade Hoyos et al., 2019). El tamaño de las esporas varía desde $4,8 \times 2,5 \mu\text{m}$ a $2,5 \times 2,5 \mu\text{m}$.

Presentan abundante micelio, rápido crecimiento micelial blanquecino generalmente, y en otros casos amarillo, a café rojizo, asimismo se evidencio la presencia de anillos concéntricos, la mayoría de los aislados registro esporas de color verde oliva a verde amarillento y en alguno casos esporas blanquecinas, por otro lado también se registró la presencia de hifas hialinas septadas, conidias generalmente ovaladas, conidióforo hialino no verticilado, fiálides singulares o en grupos, conidias unicelulares coloreadas que va desde color verde amarillento a verde oliva, algunas conidios también son de color blanco, además se evidencio la presencia de clamidosporas.

Los aislados del género *Trichoderma* sp. son filamentoso anamórfico, heterótrofo, aerobio, con una pared celular compuesto por quitina, de rápido crecimiento que puede utilizar una gran variedad de sustratos complejos como celulosa, quitina, pectina y almidón como fuente de carbono, además presentan micelio septado, conidias generalmente ovaladas, conidióforo hialino no verticilado, fiálides singulares o en grupos, conidias unicelulares coloreadas, la colonia muestra un color blanquecino en los primero días para luego tornarse de color verde, amarillo y verde amarillento con abundante esporulación, también es un hongo es saprofítico, lo cual concuerda con lo mencionado por (Filizola et al., 2019), además la mayoría de cepas de *Trichoderma* sp. no poseen etapa sexual, por lo que producen únicamente esporas asexuales, sin embargo, se conoce la etapa sexual de unas pocas cepas, pero no han sido consideradas para propósitos de biocontrol (Abbas et al., 2022).

El género *Trichoderma* sp. muestra una enorme capacidad de colonizar la rizosfera de plantas y varios sustratos con diferentes propiedades, además varias cepas viven en climas templados y suelos ácidos; no obstante, tienen la posibilidad de crear estructuras de resistencia como clamidosporas y microesclerocios, por lo tanto, son capaces de sobrevivir en condiciones bastante adversas, además poseen enorme potencial de biocontrol de fitopatógenos que crecen en altas temperaturas, suelos salinos o alcalino y en condiciones de baja humedad (Bunbury-Blanchette & Walker, 2018). Dichos hongos se alimentan absorbiendo nutrientes por medio de sus hifas, para atravesar la pared celular y utilizar los componentes como nutrientes, los sustratos de elevado peso molecular se hidrolizan a moléculas más pequeñas lo que quiere decir que los hongos liberan

enzimas extracelulares que, cuanto más distintas y numerosas, proporcionará más grandes ventajas para vivir en ambientes con diferentes condiciones (El-Gendi et al., 2022).

Abundancia de los diferentes morfotipos encontrados en las diferentes localidades.

El número total de aislados obtenidos es de 2273 entre los que se encontraron 62 morfotipos diferentes distribuidos en las diferentes localidades de los suelos agrícolas de Santa Cruz-Provincia de Galápagos. En la localidad de Camino Viejo se encontraron 17 morfotipos diferentes de los cuales el morfotipo más abundante fue el M5 con una abundancia de 327 que representa el 14,39% del total de los aislados totales, por otro lado, el morfotipo menos abundante que se encontró fue el M16 con una abundancia de 3 que representa el 0,13% del total de los aislados. En la localidad de el Cascajo se encontraron 21 morfotipos diferentes de los cuales el morfotipo que presentó mayor abundancia es el M21 con una abundancia de 270, que representa el 11,88% del total de los morfotipos estudiados, asimismo los morfotipos que presentaron la menor abundancia son M57, M58 y M60 con una abundancia de 1 cada uno lo cual representa el 0,04% respectivamente del total de aislados encontrados.

La localidad Media Luna presentó 14 morfotipos diferentes de los cuales el morfotipo M29 fue el que mayor abundancia presentó con una abundancia de 84 que representa el 3,70% del total de aislados encontrados, por otro lado, los morfotipos que menor abundancia presentaron fueron los M44, M46, M35, M39, M45, M56 y M61 con una abundancia de 1 cada uno lo que representa el 0,04% respectivamente del total de los aislados encontrados.

La Localidad Media Luna donde se encuentra el Bosque no intervenido se encontraron 7 morfotipos diferentes de los cuales el morfotipo que presentó la mayor abundancia es el M48 con una abundancia de 10 lo que representa el 0,44% del total de aislados encontrados, por otro lado, los morfotipos con la menor abundancia se encontraron M51, M54, M62, M64 y M59 con una abundancia de 1 que representa el 0,04% del total de aislados encontrados.

La localidad Media Luna presentó 14 morfotipos diferentes de los cuales el morfotipo M29 fue el que mayor abundancia presentó con una abundancia de 84 que representa el 3,70% del total de aislados encontrados, por otro lado, los morfotipos que menor abundancia presentaron fueron los M44, M46, M35, M39, M45, M56 y M61 con una abundancia de 1 cada uno lo que representa el 0,04% respectivamente del total de los aislados encontrados.

En la localidad de La Fortuna se encontró 4 morfotipos diferentes entre los cuales el morfotipo M28 es el de mayor abundancia con 19 lo que representa el 0,84% del total de los aislados encontrados, asimismo los morfotipos con menor abundancia son M47 y M36 con una abundancia de 1 cada uno lo que representa el 0,04% del total de lo aislados encontrados.

Análisis de la diversidad fúngica asociada a los suelos agrícolas de Santa Cruz-Provincia de Galápagos

El 43,86% de los aislados obtenidos en el presente estudio corresponden al género *Aspergillus* sp. el cual fue el aislado con mayor frecuencia, posteriormente le siguieron los géneros *Fusarium* sp. con 18,35%, *Gibellulopsis* sp. con 11,88%, *Trichoderma* sp. con 7,17%. Entre los géneros con menor frecuencia se encuentran *Robillarda* sp., *Paramyrothecium* sp. y *Staphylotrichum* sp. con 0,04% respectivamente y los géneros no identificaos representaron el 3,43%.

Tabla 1. Porcentaje de microorganismos fúngicos aislados de suelos agrícolas de Santa Cruz-Provincia de Galápagos.

Microorganismos aislados	Numero de aislados	Porcentaje
<i>Penicillium</i>	126	5,54
<i>Aspergillus</i>	997	43,86
<i>Fusarium</i>	417	18,35
<i>Chaetomium</i>	20	0,88
<i>Purpureocillium</i>	8	0,35
<i>Neopestalotiopsis</i>	58	2,55
<i>Smaragdiniseta</i>	72	3,17
<i>Humicola</i>	5	0,22
<i>Gibellulopsis</i>	270	11,88
<i>Sin clasificar Chaetothyriales</i>	26	1,14
<i>Actinomortierella</i>	23	1,01
<i>Alternaria</i>	5	0,22
<i>Robillarda</i>	1	0,04
<i>Galactomyces</i>	2	0,09
<i>Paramyrothecium</i>	1	0,04
<i>Staphylotrichum</i>	1	0,04

<i>Trichoderma</i>	163	7,17
<i>Desconocidos</i>	78	3,43

Abundancia relativa a nivel de filo en relación a las cinco localidades.

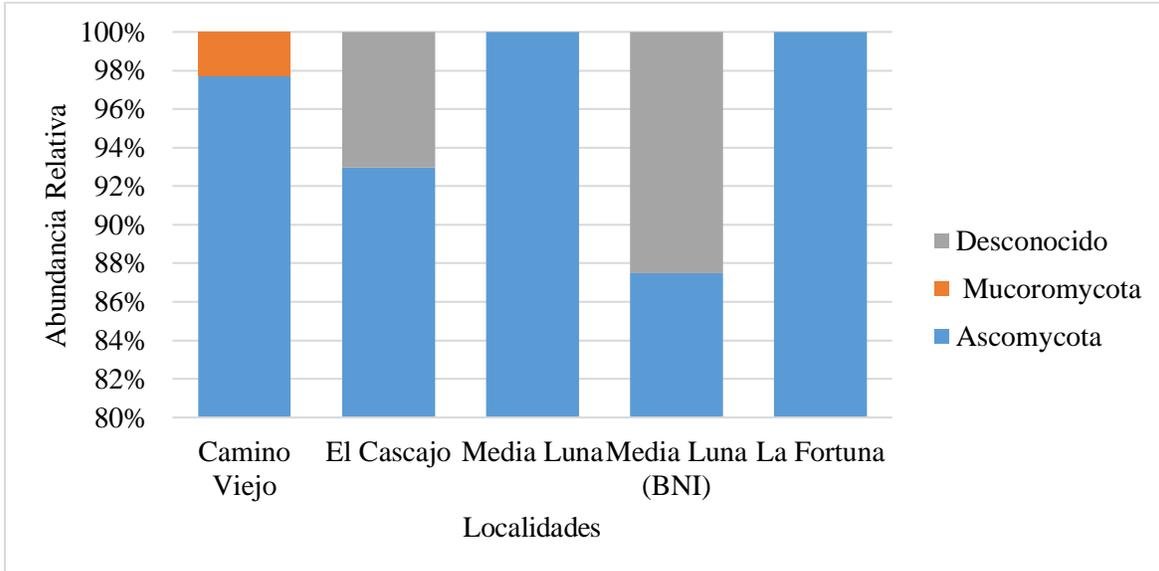


Figura 1. Abundancia relativa a nivel de filo de los microorganismos fúngicos aislado de suelos agrícolas de Santa Cruz-Provincia de Galápagos.

El filo fúngico más común entre las cinco localidades fue el Ascomycota que representó el 95,56%, asimismo se observó en menor cantidad el filo Mucoromycota con el 1,01%. Después de realizar el análisis el 3,43% de los aislados no se clasificaron a nivel de filo. Las abundancias a nivel de filo Ascomycota y filo Mucoromycota fueron diferentes entre las localidades de los suelos agrícolas de Santa Cruz-Provincia de Galápagos.

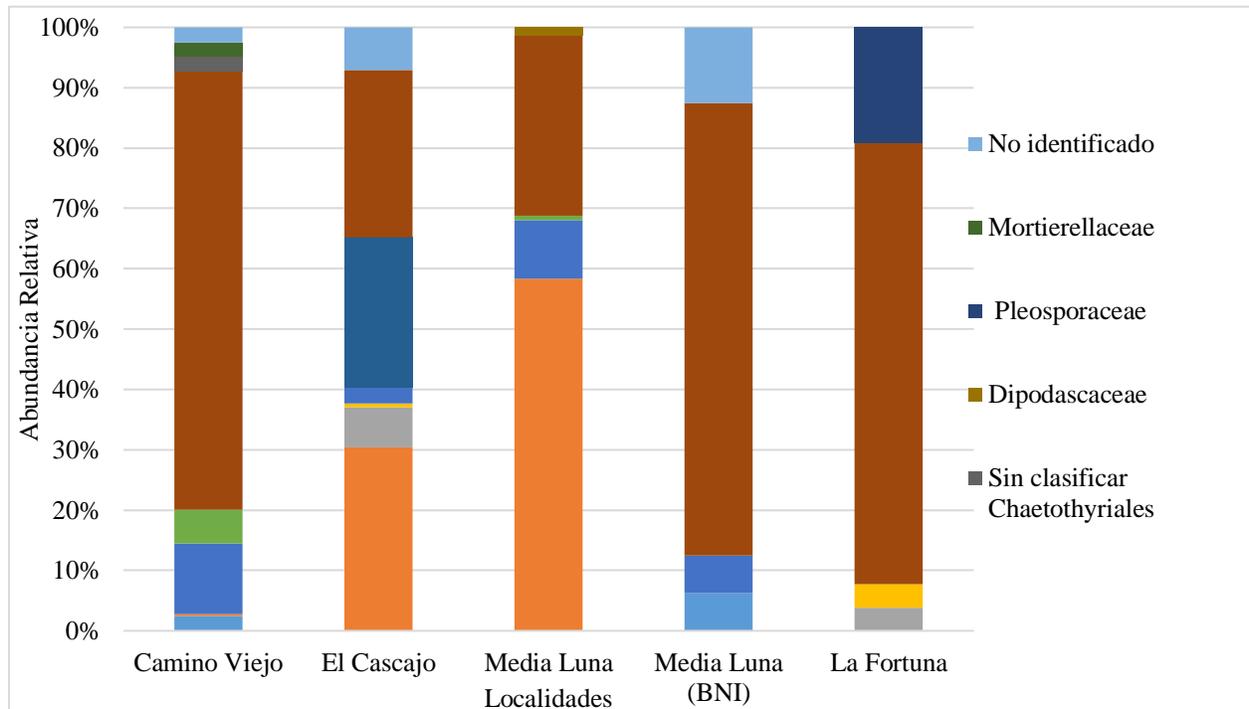
El filo Ascomycota fue el más abundante en la localidad El Cascajo con un 44,26% del total de aislados obtenidos, por otro lado, la localidad donde existió una menor abundancia del filo Ascomycota es en la localidad Media Luna-Bosque no intervenido con un 0,62% del total de aislados obtenidos.

El filo Mucoromycota se presentó únicamente en la localidad de Camino Viejo con un 1,01% del total de aislados obtenidos. Entre los aislados con filo desconocido se encuentra la localidad El Cascajo y Media Luna en donde se sitúa el bosque no intervenido. Siendo el más abundante en la localidad de El Cascajo con un 3,34% del total de aislados obtenidos y en menor abundancia la localidad Media Luna-Bosque no intervenido con 0,09% del total de aislados obtenidos.

El filo Ascomycota (95,56%) representa el más común que se encontró en todas las localidades de estudio, este, conforman el taxon fúngico con más número de especies (más de 90.000), a partir de levaduras microscópicas hasta hongos con esporocarpos tan complicados como las colmenillas y las trufas. La mayoría son saprofitos descomponedores y, por tanto, beneficiosos, salvo cuando pudren productos de postcosecha (que tienen la posibilidad de envenenar con micotoxinas), materiales con celulosa, etc. También hay varias especies fitoparásitas, junto con otras que ocasionan patologías animales y humanas. Sin embargo, además hay especies simbióticas mutualistas: endófitos, simbioses de insectos, micorrizas, líquenes (con algas o cianobacterias), etc. Hay ascomicetos útiles por su producción de antibióticos, así como por su ayuda en la obtención de ciertos alimentos (levaduras del pan o la cerveza) y productos químicos (Li et al., 2023).

Abundancia relativa a nivel de familia en relación a las cinco localidades

Figura 2. Abundancia relativa a nivel de familia de los microorganismos fúngicos aislado de suelos agrícolas de Santa Cruz-Provincia de Galápagos.



La composición microbiana a nivel de familia registró la existencia de diversos perfiles de composición fúngica de las cinco localidades de Santa Cruz-Provincia de Galápagos. Se encontraron diez familias en el filo Ascomycota siendo las siguientes: Aspergillaceae (49,41%), Nectriaceae (18,35%), Plectosphaerellaceae (11,88%), Hypocreaceae (7,17%), Stachybotryaceae (3,21%), Sporocadaceae (2,60%), Chaetomiaceae (1,14%), Ophiocordycipitaceae (0,35%), Pleosporaceae (0,22%), Dipodascaceae (0,09%) y una familia en el filo Mucoromycota siendo la familia Mortierellaceae (1,01%), el 1,14% pertenece a la familia sin identificar del orden Chaetothyriales (1,14%) y el 3,43% de los aislados no se lograron identificar a nivel de familia.

Los valores de abundancia para la familia Aspergillaceae (49,41%) siendo el de mayor presencia en el presente estudio, fueron los siguientes: el valor más alto se registró en la localidad Camino Viejo (32,95%) y el valor más bajo se registró en la localidad de Media Luna-Bosque no intervenido (0,53%). Por otra parte, la mayor abundancia que presentó la familia Nectriaceae (18,35%) se encontró en la localidad El Cascajo (14,47%) y la menor abundancia se encontró en la localidad de Camino Viejo (0,18%), por otro lado, las localidades Media Luna-Bosque no intervenido y La Fortuna no registró la presencia de esta familia. La familia Plectosphaerellaceae (11,88%) se presentó únicamente en la localidad de El Cascajo (11,88%). Los valores de abundancia para la familia Hypocreaceae (7,17%) presentó los siguientes valores: el valor más alto se registró en la localidad Camino Viejo (5,28%) y el valor más bajo se registró en la localidad Media Luna (0,04%), además en la localidad La Fortuna no existió la presencia de esta familia. La familia Stachybotryaceae (3,21%) se presentó en las localidades El Cascajo (3,17%) y La Fortuna (0,04%), además la familia Sporocadaceae (2,60%) registró la presencia en las localidades Camino Viejo (2,55%) y Media Luna (0,04%). Los valores de abundancia para la familia Chaetomiaceae (1,14%) se registraron solo en las localidades de Camino Viejo (1,10%) y Media Luna- Bosque no intervenido (0,04%), asimismo la familia Mortierellales (1,01%) se registró únicamente en la localidad Camino Viejo (1,01%). La presencia de la familia Ophiocordycipitaceae (0,35%) se evidenció en las localidades El Cascajo (0,31%) y La Fortuna (0,04%). La familia Pleosporaceae (0,22%) se registró únicamente en la localidad La Fortuna (0,22%) y por último la familia Dipodascaceae (0,09%) se presentó solamente en la localidad Media Luna (0,09%). En la localidad Camino Viejo (1,14%), El Cascajo (3,34%) y Media Luna-Bosque no intervenido (0,09%) no se logró identificar los aislados nivel de familia (4,43%). Además, el 1,14% presentó una familia que no se logró identificar que pertenece al orden Chaetothyriales.

Abundancia relativa a nivel de género en relación a las cinco localidades

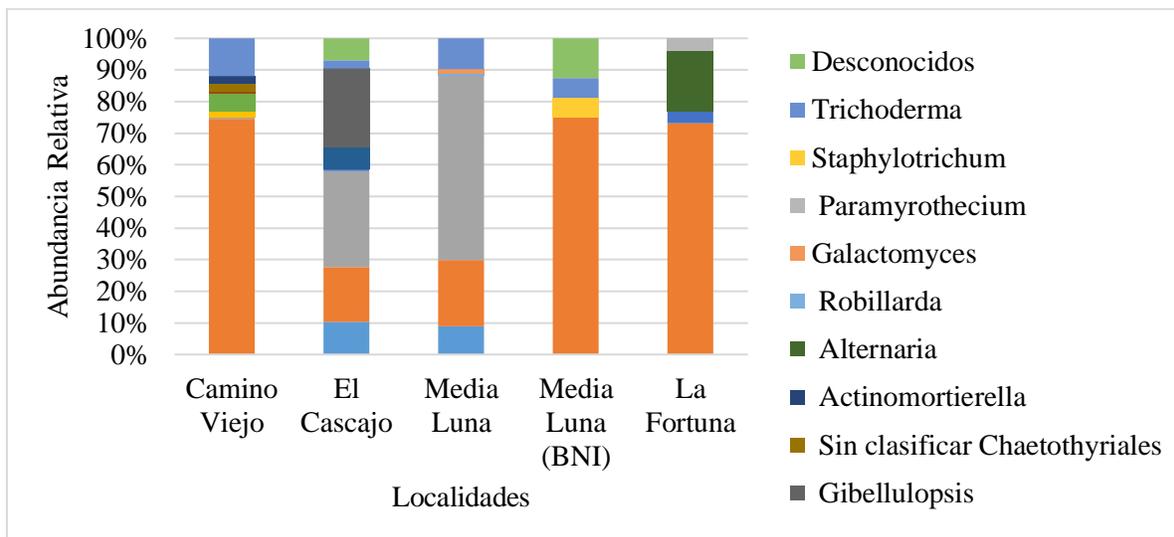


Figura 3. Abundancia relativa a nivel de género de los microorganismos fúngicos aislado de suelos agrícolas de Santa Cruz-Provincia de Galápagos.

La composición microbiana fúngica a nivel de género muestra que existen abundantes perfiles de composición fúngica de las cinco localidades de Santa Cruz-Provincia de Galápagos. En la presente investigación se encontraron 16 géneros en el filo Ascomycota siendo los siguientes: *Aspergillus* sp. (43,86%), *Fusarium* sp. (18,35%), *Gibellulopsis* sp. (11,88%), *Trichoderma* sp. (7,17%), *Penicillium* sp. (5,54%), *Smaragdiniseta* sp. (3,17%), *Neopestalotiopsis* sp. (2,55%), *Chaetomium* sp. (0,88%), *Purpureocillium* sp. (0,35%), *Humicola* sp. (0,22%), *Alternaria* sp. (0,22%), *Galactomyces* sp. (0,09%), *Robillarda* sp. (0,04%), *Paramyrothecium* sp. (0,04%), *Staphylotrichum* sp. (0,04%), género sin clasificar en el orden Chaetothyriales (1,14%),. Por otro lado, en el filo Mucoromycota se encontró solamente al género *Actinomortierella* sp. (1,01%), y el 3,43% se registró como aislados no identificados. Los valores de abundancia para el género *Aspergillus* sp. (43,86%) siendo el de mayor presencia en el presente estudio fueron los siguientes: el valor más alto se registró en la localidad Camino Viejo (32,95%) y el valor más bajo se registró en la localidad Media Luna-Bosque no intervenido (0,53%), por otro lado la mayor abundancia con respecto al género *Fusarium* sp. (18,35%) fue la localidad de El Cascajo (14,47%), y la menor abundancia lo presentaron las localidades de Media Luna (3,70%) y Camino Viejo (0,18%). El género *Gibellulopsis* sp. (11,88%) se registró únicamente en la localidad El Cascajo (11,88%).

Por otro lado, el género *Trichoderma* sp. (7,17%), registró mayor abundancia en la localidad de Camino Viejo (5,28%), y con menor abundancia en la localidad Media Luna-Bosque no intervenido (0,04%). El género *Penicillium* sp. (5,54%) se registró en las localidades de El Cascajo (4,97%) y Media Luna (0,57%). Además, el género *Smaragdiniseta* sp. (3,17%) se registró únicamente en la localidad Camino Viejo (3,17%), igualmente el género *Neopestalotiopsis* sp. (2,55%) se presentó únicamente en la localidad Camino Viejo (2,55%), también el género *Chaetomium* sp. (0,88%) se registró solamente en la localidad Camino Viejo (0,88%). Además, el género *Actinomortierella* sp. (1,01%) se registró únicamente en la localidad Camino Viejo (1,01%). Por otro lado el género *Purpureocillium* sp. (0,35%) se registró en las localidades de El Cascajo (0,31%) y La Fortuna (0,04%), así también el género *Humicola* sp. (0,22%) se presentó en la localidad Camino Viejo, asimismo el género *Alternaria* sp. (0,22%) se registró únicamente en la localidad La Fortuna (0,22%), además el género *Galactomyces* sp. (0,09%) se presentó solo en la localidad Media Luna (0,09%), también el género *Robillarda* sp. (0,04%) se presentó en la localidad Media Luna (0,04%), por otra parte el género *Paramyrothecium* sp. (0,04%) se presentó solamente en la localidad La Fortuna (0,04%), además el género *Staphylotrichum* sp. (0,04%) se registró solo en la localidad Media Luna-Bosque no intervenido (0,04%). Por otra parte, el género sin clasificar en el orden Chaetothyriales (1,14%) se registró en la localidad Camino Viejo (1,14%). Los aislados no identificados que representan el 3,43% se registraron en las localidades de El Cascajo (3,34%) y Media Luna-Bosque no intervenido (0,53%).

El presente estudio concuerda con los resultados obtenidos por O'Dell et al., (1996) en donde se conoció la diversidad fúngica del suelo de un bosque junto con un inventario y monitoreo de hongos con respectivos estudios micológicos.

Diversidad de los microorganismos fúngicos asociados a suelos agrícolas de Santa Cruz-Provincia de Galápagos

La diversidad microbiana fúngica asociada a suelos agrícolas de Santa Cruz- Provincia de Galápagos fue calculada mediante los Índices de Diversidad (ID). La α -diversidad se calculó por localidad utilizando la riqueza de especies, la diversidad de Shannon y la diversidad de Simpson con base en el número de Hill.

Índice Riqueza de especies

La riqueza de especies para los microorganismos fúngicos asociados a suelos agrícolas de Santa Cruz- Provincia de Galápagos mostró que la localidad Media Luna perteneciente al Bosque no Intervenido registró la mayor riqueza de especies (RS) con un valor de 21,062, la localidades Camino Viejo con el cultivo de hoja (Kale) presentó una RS de 17, la localidad El Cascajo tiene una RS de 10 para el cultivo de melón, una RS de 8,917 para el cultivo de pimiento y una RS del 5 para el cultivo de tomate, por otra parte la localidad Media Luna registró una RS de 10,456 para el cultivo de Café (Var Catimor), y una RS de 15,81 para el cultivo de maíz amarillo, finalmente la localidad de La Fortuna con el cultivo de Café (Var Típica) presentó un RS de 4 siendo el valor más bajo de RS registrado.

Tabla 2: Riqueza de especies de las diferentes localidades y cultivos.

Localidades	Cultivos	Observado	Estimado	s.e	LCL	UCL
Camino Viejo	Cultivo hoja Kale (CHK)	17	17	0,268	17	17,604
	Cultivo Melón (CM)	10	10	0,059	10	10,12
El Cascajo	Tomate (T)	5	5	0,342	5	5,827
	Pimiento (P)	6	8,917	4,3	6,355	29,97
Media Luna	Café (Var Catimor) (CVC)	6	10,456	7,126	6,49	46,538
	Maíz Amarillo (MA)	8	15,81	11,39	8,963	71,332
Media Luna	Bosque no intervenido (BNI)	7	21,062	12,65	10,11	70,613
La Fortuna	Café (Var Típica) (CVT)	4	4,962	2,092	4,072	16,818

Índice de Shannon

La diversidad de Shannon (H') calculada por localidad, mostró que la Localidad Camino Viejo con el Cultivo de hoja (Kale) obtuvo la mayor diversidad (H') microbiana fúngica con un valor de 7,635. El valor de diversidad (H') para las demás localidades son las siguientes: La localidad El Cascajo presentó una diversidad (H') de 6,263 para el cultivo de Melón, para el cultivo de tomate registró un valor de 4,097, y para el cultivo de pimiento se registró un valor de diversidad (H') de 3,872. Por otro lado, la localidad de Media Luna con el cultivo de Maíz amarillo presentó una diversidad (H') de 5,634. El valor de diversidad (H') que registró la localidad Media Luna en donde se encuentra el Bosque no intervenido fue de 6,915. La localidad la Fortuna con el cultivo e Café

(var, Típica) presento una diversidad (H') de 2,431. La localidad que presento el valor de diversidad (H') más bajo fue Media Luna con el cultivo de Café (var. Catimor) con 1,985 de diversidad (H')

Tabla 3: Índice de Shannon de las diferentes localidades y cultivos

Localidades	Cultivos	Observado	Estimado	s.e	LCL	UCL
Camino Viejo	Cultivo hoja Kale (CHK)	7,573	7,635	0,259	7,573	8,141
	Cultivo Melón (CM)	6,227	6,263	0,164	6,227	6,584
El Cascajo	Tomate (T)	4,062	4,097	0,102	4,062	4,297
	Pimiento (P)	3,414	3,872	0,71	3,414	5,262
Media Luna	Café (Var Catimor) (CVC)	1,888	1,985	0,241	1,888	2,458
	Maíz Amarillo (MA)	4,71	5,634	1,064	4,71	7,72
Media Luna	Bosque no intervenido (BNI)	3,794	6,915	3,67	3,794	14,108
La Fortuna	Café (Var Típica) (CVT)	2,219	2,431	0,409	2,219	3,232

Índice de Simpson

La diversidad de Simpson (D), que es más sensible a los microbios dominantes o comunes en la comunidad, calculada para cada localidad mostró La Localidad El Cascajo obtuvo la mayor diversidad fúngica con un valor de 5,105 para el cultivo de Melón, mientras que los valores de diversidad de Simpson (D) para las demás localidades fueron las siguientes: La Localidad Camino Viejo registró un valor de 5,041 para el cultivo de Hoja (Kale), la localidad El Cascajo presentó una diversidad (D) de 3,946 para el cultivo de Tomate, y 2,903 para el cultivo de Pimiento. La diversidad (D) que registró la localidad Media Luna para el cultivo de Maíz Amarillo fue de 4,061, asimismo la localidad Media Luna donde se encuentra el Bosque no intervenido registró un valor de 2,415, también la localidad La Fortuna presentó un valor de 1,796 para el cultivo de Café (var. Típica), finalmente la localidad con la menor diversidad (D) se registró en la Localidad Media Luna en el cultivo de Café (var. Catimor).

Tabla 4: Índice de Simpson de las diferentes localidades y cultivos.

Localidades	Cultivos	Observado	Estimado	s.e	LCL	UCL
Camino Viejo	Cultivo hoja Kale (CHK)	5,021	5,041	0,182	5,021	5,398
El Cascajo	Cultivo Melón (CM)	5,079	5,105	0,187	5,079	5,47
	Tomate (T)	3,899	3,946	0,115	3,899	4,171

	Pimiento (P)	2,757	2,903	0,425	2,757	3,737
Media Luna	Café (Var Catimor) (CVC)	1,439	1,445	0,137	1,439	1,714
	Maíz Amarillo (MA)	3,785	4,061	0,633	3,785	5,303
Media Luna	Bosque no intervenido (BNI)	2,415	2,415	1,613	2,415	5,577
La Fortuna	Café (Var Típica) (CVT)	1,742	1,796	0,326	1,742	2,435

Conclusiones

Se aislaron un total de 2273 microorganismos fúngicos, los cuales se agruparon en 63 morfotipos diferentes y se identificaron 17 taxones. La diversidad fúngica entre las localidades fue diferente siendo la localidad Media Luna donde se encuentra el bosque no intervenido, la localidad que obtuvo mayor riqueza de especies; por otro lado, la localidad de Camino Viejo obtuvo mayor diversidad Shannon y la localidad El Cascajo en donde se encuentra el cultivo de Melón registró la mayor diversidad de Simpson, y la menor diversidad de especies registro la localidad de La Fortuna. Se encontró diversos taxones con abundancia relativa diferentes encontrándose al género *Aspergillus* sp. (43,86%), con mayor frecuencia, luego le siguieron los géneros *Fusarium* sp. (18,35%), *Gibellulopsis* sp. (11,88%), *Trichoderma* sp. (7,17%), *Penicillium* sp. (5,54%), *Smaragdiniseta* sp. (3,17%), *Neopestalotiopsis* sp. (2,55%), *Actinomortierella* sp. (1,01%). En menor proporción se encontraron los géneros *Chaetomium* sp. (0,88%), *Purpureocillium* sp. (0,35%), *Humicola* sp. (0,22%), *Alternaria* sp. (0,22%), *Galactomyces* sp. (0,09%), *Robillarda* sp. (0,04%), *Paramyrothecium* sp. (0,04%), *Staphylotrichum* sp. (0,04%); además, se presentó un género sin clasificar en cual pertenece al orden Chaetothyriales (1,14%), y los géneros no identificados representaron el 3,43%.

Referencias

1. Abbas, A., Mubeen, M., Zheng, H., Sohail, M. A., Shakeel, Q., Solanki, M. K., Iftikhar, Y., Sharma, S., Kashyap, B. K., Hussain, S., del Carmen Zuñiga Romano, M., Moya-Elizondo, E. A., & Zhou, L. (2022). *Trichoderma* spp. Genes Involved in the Biocontrol Activity Against *Rhizoctonia solani*. *Frontiers in Microbiology*, 13.
2. Alfenas, A. C., & Mafía, R. G. (2016). *Métodos em Fitopatología* (2nd ed.).
3. Andrade Hoyos, P., Luna Cruz, A., Osorio Hernández, E., Molina Gayosso, E., Landero Valenzuela, N., & Barrales Cureño, H. J. (2019). Antagonismo de *Trichoderma* spp. vs

- hongos asociados a la marchitez de Chile. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6 SE-Artículos), 1259–1272.
4. Barratt, S. R., Ennos, R., Greenhalgh, M., Robson, G. D., & Handley, P. (2003). Fungi are the predominant micro-organisms responsible for degradation of soil-buried polyester polyurethane over a range of soil water holding capacities. *Journal of Applied Microbiology*, 95, 78–85.
 5. Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10.
 6. Beltrán Pineda, M. E., Rocha Gil, Z. E., Bernal Figueroa, A. A., & Pita Morales, L. A. (2017). Microorganismos funcionales en suelos con y sin revegetalización en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá. *Colombia Forestal*, 20(2 SE-Artículos de investigación científica y tecnológica), 159–170.
 7. BUDGE, S., & WHIPPS, J. (2007). Glasshouse trials of *Coniothyrium minitans* and *Trichoderma* species for the biological control of *Sclerotinia sclerotiorum* in celery and lettuce. *Plant Pathology*, 40, 59–66.
 8. Bunbury-Blanchette, A., & Walker, A. (2018). *Trichoderma* species show biocontrol potential in dual culture and greenhouse bioassays against *Fusarium* basal rot of onion. *Biological Control*, 130.
 9. El-Gendí, H., Saleh, A. K., Badierah, R., Redwan, E. M., El-Maradny, Y. A., & El-Fakharany, E. M. (2022). A Comprehensive Insight into Fungal Enzymes: Structure, Classification, and Their Role in Mankind's Challenges. In *Journal of Fungi* (Vol. 8, Issue 1).
 10. Fernández, M., Cattana, M., Rojas, F., Sosa, M. de los Á., Aguirre, C., Vergara, M., & Giusiano, G. (2014). Especies de *Aspergillus* en ambientes hospitalarios con pacientes pediátricos en estado crítico. *Revista Iberoamericana de Micología*, 31(3), 176–181.
 11. Filizola, P. R. B., Luna, M. A. C., de Souza, A. F., Coelho, I. L., Laranjeira, D., & Campos-Takaki, G. M. (2019). Biodiversity and phylogeny of novel *Trichoderma* isolates from mangrove sediments and potential of biocontrol against *Fusarium* strains. *Microbial Cell Factories*, 18(1), 89.

12. Gohel, N., Bl, R., Patel, N., Parmar, H., & Raval, D. (2022). Role of Fungal Biocontrol Agents for Sustainable Agriculture (pp. 577–606).
13. He, J., Ge, C., Ying-Ning, Z., Shu, B., Wu, Q.-S., Srivastava, A., & Kuca, K. (2020). Contribution of glomalin-related soil proteins to soil organic carbon in trifoliolate orange. *Applied Soil Ecology*, 154, 103592.
14. Iram, A., Berenjian, A., & Demirci, A. (2021). A Review on the Utilization of Lignin as a Fermentation Substrate to Produce Lignin-Modifying Enzymes and Other Value-Added Products. In *Molecules* (Vol. 26, Issue 10).
15. Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA . In *Idesia (Arica)* (Vol. 24, pp. 49–61). scielocl .
16. Lezcano, J. C., Martínez, B., & Alonso, O. (2015). Caracterización cultural y morfológica e identificación de especies de *Aspergillus* asociadas a semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Perú . In *Pastos y Forrajes* (Vol. 38, pp. 176–181). scielocu .
17. Li, K., Qiao, K., Xiong, J., Guo, H., & Zhang, Y. (2023). Nutritional Values and Bio-Functional Properties of Fungal Proteins: Applications in Foods as a Sustainable Source. In *Foods* (Vol. 12, Issue 24).
18. Marcos Valle, F., Moreno, V., Silvestro, L., Castellari, C., Diaz Delfino, A., Andreoli, Y., & Picone, L. (2019). DIVERSIDAD FÚNGICA EN SUELOS CON DIFERENTES USOS EN LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA . In *Chilean journal of agricultural & animal sciences* (Vol. 35, pp. 163–172). scielocl .
19. Martínez-Solórzano, G. E., Rey-Brina, J. C., Pargas-Pichardo, R. E., & Manzanilla, E. E. (2019). Fusarium wilt by tropical race 4: Current status and presence in the American continent. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1 SE-Literature Reviews), 259–276.
20. Naranjo-Ortiz, M. A., & Gabaldón, T. (2019). Fungal evolution: major ecological adaptations and evolutionary transitions. *Biological Reviews*, 94(4), 1443–1476.
21. O’Dell, T., Smith, J., Castellano, M., & Luoma, D. (1996). Diversity and conservation of forest fungi. USDA Forest Service - General Technical Report PNW, 5–18.
22. Okungbowa, F., & Shittu, H. (2014). Fusarium Wilts: An Overview (pp. 83–104).
23. Pérez-Urria Carril, E., & Ávalos García, A. (2009). Metabolismo secundario de plantas. REDUCA, 2.

24. Ramos, B. (2014). CARACTERIZACIÓN CULTURAL DE DOS CEPAS DE HONGOS PERTENECIENTES A LOS *Beltrania* y *Beltraniella*, en diferentes medios de cultivos.
25. Retana, K., Ramírez-Coché, J. A., Castro, O., & Blanco-Meneses, M. (2018). Caracterización morfológica y molecular de *Fusarium oxysporum* asociado a la marchitez del apio en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 42(1 SE-Notas técnicas).
26. Sanchez-Yañez, J., Marquez-Benavides, L., Lozano, L., & Fernandez-Pavia, S. (2007). Los hongos fundamentales en la productividad del suelo.
27. Wu, H., Cui, H., Fu, C., Li, R., Qi, F., Liu, Z., Yang, G., Xiao, K., & Qiao, M. (2024). Unveiling the crucial role of soil microorganisms in carbon cycling: A review. *Science of The Total Environment*, 909, 168627.
28. Zaccardelli, M., Vitale, S., Luongo, L., Merighi, M., & Corazza, L. (2008). Morphological and Molecular Characterization of *Fusarium solani* Isolates. *Journal of Phytopathology*.

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).