



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA
AGRICULTURA**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO**

**TEMA: DIVERSIDAD DE HONGOS PRESENTES EN RAÍCES
DE TRES ESPECIES ARBÓREAS PLANTADAS EN SUELOS
PERTURBADOS POR LA ACTIVIDAD PETROLERA EN LA
AMAZONÍA ECUATORIANA**

AUTOR: SOSA VARGAS, VALERIA SORAYMA

DIRECTOR: Dr. CHIRIBOGA NOVILLO, CARLOS EDUARDO

SANGOLQUÍ

2018



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

i

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA - IASA I

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación ***“DIVERSIDAD DE HONGOS PRESENTES EN RAÍCES DE TRES ESPECIES ARBÓREAS PLANTADAS EN SUELOS PERTURBADOS POR LA ACTIVIDAD PETROLERA EN LA AMAZONÍA ECUATORIANA”*** fue realizado por el señorita *Sosa Vargas Valeria Sorayma* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 1 de agosto del 2018

Dr. Carlos Eduardo Chiriboga Novillo

C.C.: 1706484613



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA
AGRICULTURA**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA - IASA I

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Sosa Vargas, Valeria Sorayma*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Diversidad de hongos presentes en raíces de tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados por la actividad petrolera en la Amazonía ecuatoriana* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 1 de agosto del 2018

Valeria Sosa

C.C.: 172185447-7



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA
AGRICULTURA**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA - IASA I

AUTORIZACIÓN

*Yo, Sosa Vargas, Valeria Sorayma autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diversidad de hongos presentes en raíces de tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados por la actividad petrolera en la Amazonía ecuatoriana** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

Sangolquí, 1 de agosto del 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Valeria Sosa', is written over a horizontal dotted line.

Valeria Sosa

C.C.: 172185447-7

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, que siempre me ha dado la fuerza para ir alcanzando un escalón más en mi formación académica.

A mis amados Padres, los que de una u otra forma han sabido guiarme, darme su apoyo incondicional y amor a su manera.

A mis Abuelitos, que siempre han estado a mi lado brindándome todo su amor.

A mi tía María Eugenia, gracias por todo su apoyo, amor, comprensión y por todos los consejos que me supo dar en su momento.

A mi tía Jimena, que me ha enseñado que se puede salir adelante de mil y un formas, solo depende de uno mismo, dando el lugar primero a Dios.

A mis queridos amigos que me han acompañado en este largo camino de estudio, gracias por todo su cariño, por su amistad sincera y por todos los momentos vividos.

Vale So.

AGRADECIMIENTO

Estoy agradecida con mis Padres, por todo el esfuerzo y confianza que han puesto en mí; a mi linda y preciada Madre quien día a día así este a kilómetros de distancia, su presencia siempre estuvo conmigo, cada detalle, llamada o mensaje; a mi padre quién me ha enseñado a afrontar de la mejor manera lo bueno y malo de la vida y sobre todo a ser mejor día a día.

A Consuelito, mi segunda mamá, quien me ha enseñado a ser una mujer decidida, de buen corazón y sobre todo a no darme por vencida.

Agradezco también a mi querida institución, ESPE - IASA I, por los valiosos conocimientos impartidos y demás experiencias vividas.

Al Dr. Carlos Chiriboga, por compartir conmigo su sabiduría, amistad, por brindarme de su tiempo y guiarme en este camino para la realización de este proyecto.

Al Ing. Jaime Villacís, Ph. D. y al Dr. Wilmer Pozo, Ph. D., quienes han cultivado en mí muchas enseñanzas para el desarrollo de este proyecto, gracias por su tiempo, su paciencia y por los consejos que me supieron dar en su momento.

Al MSc. Mario Landívar, por brindar su apoyo en las fases iniciales del proyecto y por su amistad.

A Petroamazonas EP, por brindar su total cooperación para el cumplimiento de la fase de campo del proyecto dentro de sus instalaciones, y sobre todo a los técnicos y al personal de apoyo, que asistieron en todas las salidas de campo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1	Planteamiento y justificación del problema	1
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivo general	3
1.2.2	Objetivos específicos.....	3
1.3	Hipótesis.....	3

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1	Suelos	4
2.1.1	Suelos amazónicos	4
2.1.2	Plataformas que circunscriben a los pozos petroleros (PCPP).....	4
2.1.3	Unidades de tratamiento de suelos contaminados (UTSC).....	5
2.1.4	Celdas de lodos y ripios (CLR)	5
2.2	Características de las especies arbóreas evaluadas.....	5
2.2.1	Guarango espinudo (<i>Piptadenia pteroclada</i>)	5
2.2.2	Chíparo (<i>Zygia longifolia</i>).....	6
2.2.3	Caoba (<i>Platymiscium pinnatum</i>)	6
2.3	Asociación de microorganismos con plantas vasculares.....	7
2.4	Clasificación de los Hongos	8
2.5	Funciones de los Hongos.....	9
2.6	Medios de cultivo	10
2.7	Diversidad de especies	10

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	Ubicación política	12
3.2	Ubicación geográfica.....	12

	viii
3.3	Ubicación ecológica 12
3.4	Materiales y métodos 13
3.4.1	Selección de especies arbóreas..... 13
3.4.2	Selección de sitios de muestreo y obtención de la muestra..... 14
3.4.3	Aislamiento e identificación de hongos 15
3.4.3.1	Asepsia del material de laboratorio, preparación de medios de cultivo y proceso de siembra 15
3.4.3.2	Proceso de purificación y caracterización microscópica de hongos 15
3.4.4	Diseño experimental..... 16
3.4.5	Métricas de diversidad fúngica..... 17
3.4.6	Análisis de la información..... 17

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Resultados 19
4.1.1	Composición de morfoespecies fúngicas, abundancia y riqueza (Diversidad alfa) ... 19
4.1.1.1	Estimador de riqueza Chao 2..... 26
4.1.2	Similitud de morfoespecies fúngicas (Diversidad beta)..... 27
4.1.3	Diferencias entre la abundancia y riqueza de las morfoespecies fúngicas..... 30
4.2	Discusión..... 31
4.2.1	Diversidad de morfoespecies fúngicas 31
4.2.2	Diferencias entre la abundancia y riqueza de las morfoespecies fúngicas..... 33

CAPÍTULO V**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones	35
5.2	Recomendaciones.....	36
5.3	Bibliografía.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Ubicación de los sitios de muestreo</i>	12
Tabla 2	<i>Condiciones climáticas de los sitios de muestreo</i>	13
Tabla 3	<i>Composición de morfoespecies fúngicas por sitio perturbado</i>	20
Tabla 4	<i>Composición de morfoespecies fúngicas por especie arbórea</i>	22
Tabla 5	<i>Composición de morfoespecies fúngicas en plataformas que circunscriben a los pozos petroleros (PCPP)</i>	23
Tabla 6	<i>Composición de morfoespecies fúngicas en unidades de tratamiento de suelos contaminados (UTSC)</i>	24
Tabla 7	<i>Composición de morfoespecies fúngicas en celdas de lodos y ripios (CLR)</i>	25
Tabla 8	<i>Composición de morfoespecies fúngicas en potreros (POTR)</i>	26
Tabla 9	<i>Análisis de morfoespecies fúngicas según el estimador no paramétrico de riqueza Chao 2 para el cada sitio perturbado</i>	27
Tabla 10	<i>Análisis de morfoespecies fúngicas según el estimador no paramétrico de riqueza Chao 2 para las especies arbóreas</i>	27
Tabla 11	<i>Promedio \pm error estándar de los índices de diversidad alfa de las morfoespecies fúngicas de acuerdo al sitio perturbado y a la especie arbórea</i>	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Puntos de colección de las muestras de raíces, alrededor de cada uno de los individuos de las especies arbóreas	14
Figura 2	Disposición del experimento en las parcelas experimentales ubicadas en las provincias de Orellana y Sucumbíos, 2018	16
Figura 3	Dendrograma de Bray-Curtis de las morfoespecies fúngicas por a= sitio perturbado (PCPP=plataformas que circunscriben a los pozos petroleros, UTSC =unidades de tratamiento de suelos contaminados, CLR=celdas de lodos y ripios, y POTR= potreros) y b=especie arbórea (Pi pt= <i>Piptadenia pteroclada</i> , Zi lo= <i>Zigia longifolia</i> , y Pl pi= <i>Platymiscium pinnatum</i>)	28
Figura 4	Dendrogramas de Bray-Curtis de las morfoespecies fúngicas de a=PCPP, b= UTSC, c=CLR y d=POTR; Pi pt= <i>Piptadenia pteroclada</i> , Zi lo= <i>Zigia longifolia</i> , y Pl pi= <i>Platymiscium pinnatum</i>	29

RESUMEN

Las actividades antropogénicas han causado severos impactos ambientales en la Amazonía de Ecuador, afectando a los bosques tropicales, al suelo, al agua y por ende a la diversidad de hongos asociados a las raíces arbóreas. En el presente estudio se evaluó la diversidad de morfoespecies de hongos en las raíces de tres especies arbóreas *Piptadenia pteroclada*, *Zygia longifolia* y *Platymiscium pinnatum*, plantadas hace cinco años en sitios perturbados por la actividad petrolera. En ocho parcelas permanentes (dos unidades de tratamiento de suelos contaminados, dos plataformas petroleras, dos celdas de lodos y ripios, dos potreros), se colectaron, muestras radiculares de los individuos de las tres especies arbóreas, hasta una profundidad de 20 cm. Posteriormente, se determinó la composición, abundancia, riqueza, diversidad y similitud de morfoespecies y se comparó la abundancia, riqueza y diversidad por sitio perturbado y especie arbórea. Se registraron un total de 31 diferentes morfoespecies y la riqueza específica no mostró diferencias significativas entre sitios perturbados y especies. *Piptadenia pteroclada* y *Platymiscium pinnatum* de las plataformas y *Zygia longifolia* y *Platymiscium pinnatum* de suelos contaminados, presentaron menor abundancia que el resto de especies en los otros sitios. Además *Piptadenia pteroclada* de las plataformas mostró menor diversidad fúngica que *Platymiscium pinnatum* y *Zygia longifolia* presente en los demás sitios. Se concluye que bajo las condiciones del estudio, la abundancia y diversidad de hongos radiculares varían entre especies arbóreas y sitios perturbados, y su riqueza se mantiene igual.

Palabras clave:

- **ACTIVIDAD ANTROPOGÉNICA**
- **MOFOESPECIES FUNGICAS**
- *Zygia longifolia*
- **PLATAFORMAS PETROLERAS**
- **SITIOS PERTURBADOS**

ABSTRACT

Anthropogenic activities have caused severe environmental impacts in Ecuadorian Amazon, affecting tropical forests, soil, water and fungi diversity in tree roots. In this study, the diversity of fungal morphospecies in roots of three tree species *Piptadenia pteroclada*, *Zygia longifolia* and *Platymiscium pinnatum*, planted on sites disturbed by oil activity five years ago, was evaluated. On eight permanent plots (two contaminated soil treatment units, two oil platforms, two mud and drill cutting cells and two paddocks), tree roots samples at a 20 cm depth were collected. Subsequently, composition, abundance, richness, diversity and similarity of morphospecies were determined. In addition, abundance, richness and diversity were compared by disturbed site and tree species. Thirty one morphospecies were recorded and specific richness did not show significant differences between disturbed sites and species. *Piptadenia pteroclada* and *Platymiscium pinnatum* on oil platforms and *Zygia longifolia* and *Platymiscium pinnatum* on contaminated soils, showed lower abundance than the rest of species on the other sites. Additionally, *Piptadenia pteroclada* on oil platforms showed less fungal diversity than *Platymiscium pinnatum* and *Zygia longifolia* on the other sites. It is concluded that in Amazon study area, tree roots fungi abundance and diversity vary between tree species and disturbed sites and tree roots fungi richness remains similar.

Keywords:

- **ANTROPOGENIC ACTIVITIES**
- **FUNGAL MORPHOSPECIES**
- *Zygia longifolia*
- **OIL PLATFORMS**
- **DISTURBED SITES**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento y justificación del problema

La amazonia ecuatoriana tiene una superficie aproximada de 118 422 km² que representa el 41,8 % del país (Instituto Geográfico Militar [IGM], 2010). Las provincias de Orellana y Sucumbíos son los sitios más afectados por la actividad hidrocarburífera, a tal punto de generar impactos negativos en la biodiversidad amazónica (Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador [MAE], 2015). La grave contaminación que ha sufrido la amazonia ecuatoriana, por las actividades inherentes al proceso de extracción de petróleo en décadas pasadas, ha encaminado a la empresa Petroamazonas EP, con su proyecto Amazonía Viva, a efectuar proyectos de remediación de pasivos ambientales y reforestación sobre los sitios afectados. A su vez, deben regirse a los límites de contaminantes estipulados en el Reglamento Sustitutivo del Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador - RAOHE (Ministerio de Energía y Minas, 2001). Del mismo modo se han realizado proyectos sobre el establecimiento de especies forestales idóneas para la recuperación de los suelos y del ecosistema en general (Villacís, Armas , Hang, & Casanoves, 2016; Villacís, Casanoves, Hang, Keesstra, & Armas, 2016). Estudios previos han demostrado que tres especies arbóreas *Platymiscium pinnatum* (caoba), *Zigia longifolia* (chíparo), *Piptadenia pteroclada* (guarango espinudo) presentan el mejor desempeño sobre suelos perturbados durante los primeros cinco años, a partir de su establecimiento en campo (Espinoza, 2018).

Las especies arbóreas amazónicas que se han adaptado a estas condiciones, han concentrado su sistema radicular en la capa superior del suelo (Morongas, 2008). El sistema radicular de los árboles y el suelo, forman un ecosistema único para la supervivencia de los microorganismos

descomponedores, antagonistas o promotores de crecimiento que habitan en el suelo (Willey, Sherwood, & Woolverton, 2009), especialmente del reino Fungi (Moreira, Huising, & Bignell, 2012).

Los hongos cumplen numerosas funciones ecológicas, entre ellas, descomponer celulosa, hemicelulosa, pectinas, almidones, grasas, ligninas. También algunas especies de hongos actúan como depredadores de protozoos y nemátodos mientras que otras son reguladoras del balance microbiológico del suelo (De la Salas, 1987). Un grupo de hongos aumentan la capacidad de las raíces de plantas para absorber nutrientes, así como secretar compuestos químicos que disuelven los minerales, los que son aprovechados por otros organismos como fuente nutricional. De igual forma los hongos producen compuestos que actúan como antibióticos que reducen ciertas enfermedades de las plantas (Escobar, Mora, & Romero, 2012).

De los suelos sometidos a procesos de remediación, no se dispone información inicial sobre las comunidades fúngicas, por lo que es necesario, realizar un inventario de la composición de especies fúngicas relacionados a dichos procesos. Además es necesario conocer si ciertas especies de hongos han aportado a la recuperación del suelo en los primeros cinco años. Del mismo modo, se debe diferenciar que especie arbórea presenta mayor diversidad de hongos, asociados a sus raíces.

Debido a la importancia que tienen los hongos dentro del equilibrio de un ecosistema, es necesario conocer su riqueza y diversidad en los sistemas radiculares de las especies arbóreas que han mostrado mejor desempeño sobre los suelos perturbados (plataformas petroleras, celdas de lodos y ripios y unidades de tratamientos de suelos contaminados) durante los primeros cinco años. Esta información, permitirá conocer si las poblaciones o comunidades fúngicas de los suelos contaminados difieren de las poblaciones o comunidades fúngicas

presentes en sitios no perturbados (potreros). También permitirá realizar una línea base de las especies fúngicas encontradas en estos sitios.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la diversidad de hongos en raíces de tres especies arbóreas plantadas sobre suelos perturbados por la actividad petrolera en la Amazonía del Ecuador.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la diversidad de morfoespecies de hongos en raíces de *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* y *Piptadenia pteroclada*, implementadas hace cinco años en sitios perturbados por las actividades de extracción de petróleo.
- Comparar la abundancia, riqueza y diversidad de morfoespecies de hongos entre sitios perturbados y especies arbóreas.

1.3 Hipótesis

H1: Las raíces de las especies arbóreas *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* y *Piptadenia pteroclada* plantadas en suelos perturbados presentan menor riqueza de morfoespecies de hongos que las raíces de las especies arbóreas plantadas en potreros.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Suelos

2.1.1 Suelos amazónicos

La región amazónica del Ecuador se ubicada al este de la cordillera oriental de los Andes, está dividida por seis provincias, las cuales son: Sucumbíos, Orellana, Napo, Pastaza, Morona-Santiago y Zamora-Chinchiipe. Los suelos en general son pobres en nutrientes, es decir, con un bajo nivel de fertilidad, poca capacidad de absorción y suelen ser ácidos (EcoCiencia, Centro Fátima, Jatun Sacha, & Omaere, 1996). Las condiciones climáticas de los sitios de estudio se pueden visualizar en la Tabla 2.

Acorde con el IGM (2010), los suelos amazónicos se ubican en su mayoría en el orden de los Inceptisoles, suelos característicos de zonas húmedas y subhúmedas. Son suelos eluviales (suelos con migración de coloides como arcillas, humus, óxidos de un horizonte superior del suelo donde se acumula), con horizontes alterables y con pérdidas de bases, Fe y Al (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2017). La mayoría de los Inceptisoles tienen un aprovechamiento forestal, aunque también son suelos de praderas (buenos para pastos siempre que haya humedad) o tierras de cultivo (Ibañez, Gisbert, & Moreno, 2014).

A continuación se hace una breve explicación acerca de los sitios perturbados muestreados:

2.1.2 Plataformas que circunscriben a los pozos petroleros (PCPP)

Las PCPP son la base que se instala alrededor del pozo para poder extraer el petróleo. Para su construcción se requiere varias fases tanto destructivas como contaminantes, ya sea por ejemplo, el ingreso hacia el lugar donde será ubicada la plataforma, desbroce de la vegetación

aledaña, perforación de pozos e instalación de infraestructura dentro de los campos petroleros (Ulcuango, 2014).

2.1.3 Unidades de tratamiento de suelos contaminados (UTSC)

Las UTSC son áreas en donde se lleva a cabo los procesos de lavado y secado de suelos, separación de hidrocarburos y tratamiento biológico y/o químico hasta lograr que el suelo enmendado se encuentre dentro de los límites permisibles de hidrocarburos de acuerdo al RAOHE (Ulcuango, 2014).

2.1.4 Celdas de lodos y ripios (CLR)

Las CLR son centros de acopio, generalmente piscinas o celdas de tratamiento impermeabilizadas con geomembrana, a donde van los desechos de perforación (ripios de perforación: sólidos contenidos en el fluido de perforación para controlar propiedades físicas y químicas del mismo). El sustrato de las celdas tiene una alta cantidad de metales pesados (Pb, Ni, Hg, Cu y Zn), por lo que se hacen tratamientos de desintoxicación del suelo, siguiendo las normas establecidas por el RAOHE, de tal manera que el suelo pueda ser utilizado en procesos de revegetación (Ballesteros, 2007).

2.2 Características de las especies arbóreas evaluadas

A continuación se detallan características de las especies arbóreas evaluadas en el estudio:

2.2.1 Guarango espinudo (*Piptadenia pteroclada*)

El guarango espinudo es originario de Sudamérica y alcanza los 25 m de altura y 60 cm de DAP (Palacios, 2011). *Piptadenia pteroclada* pertenece a la clase Magnoliopsida, orden Fabales y familia Fabaceae (International Legume Database Information Service [ILDIS], 2014). Su corteza es pardo-rojiza (árboles jóvenes) a pálida-grisácea y la corteza interna es fibrosa, de color crema. Su sistema radicular es profundo y pivotante, que facilita la absorción de agua de los horizontes inferiores del suelo y le otorga tolerancia a suelos secos (Gómez &

Toro, 2007). Las hojas son paripinnadas, pinnadas de 12 a 15 pares. Las flores son abundantes con menos de 10 estambres con filamentos cremas-amarillos cuando son jóvenes y luego se torna púrpura-rojos. Su fruto es una vaina plana que produce de 5 a 7 semillas (Palacios, 2011).

2.2.2 Chíparo (*Zygia longifolia*)

Zygia longifolia es un árbol que se distribuye desde México a Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Las Guayanas, Perú y Venezuela (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2015). *Zygia longifolia* pertenece a la clase Magnoliopsida, orden Fabales y familia Fabaceae (Naturalista, 2016).

Es un árbol común en bosques ribereños y anegados (Arias, 2015), por lo general es ripícola, hermafrodita y perennifolio. De tamaño pequeño a mediano, su altura va desde 6 hasta 25 m, presenta una longevidad alta (> 60 años). Su copa es compacta, tronco generalmente muy ramificado desde baja altura (UICN, 2015). Las hojas a veces presentan dos pinnas con folíolos grandes o con múltiples pinnas y folíolos pequeños. La inflorescencia en un racimo, las flores son tubulares, rosadas o cremas y el fruto es una vaina plana o engrosada con múltiples semillas (Palacios, 2011). Se lo usa en sistemas agroforestales como árbol de sombra, cercas vivas y cultivos mixtos. Mientras que la madera se usa en postes para cerca y como combustible (UICN, 2015).

2.2.3 Caoba (*Platymiscium pinnatum*)

La caoba es un árbol que se distribuye desde Veracruz a Yucatán en México y de Nicaragua hasta Colombia, Venezuela, La Guayana, norte de Ecuador y Trinidad y Tobago, en bosques húmedos y muy húmedos (UICN, 2015). *Platymiscium pinnatum* pertenece a la clase Magnoliopsida, orden Fabales y familia Fabaceae (Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia [SIB], 2009). Es un árbol hermafrodita y caducifolio que puede llegar a medir hasta 35 m de altura y 80 cm de DAP. Su copa es amplia, tronco recto, cilíndrico y con raíces

tablares pequeñas. Presenta ramas terminales opuestas-decusadas, las nuevas son verdes-lustrosas y las adultas son pardas. Presenta hojas opuestas-decusadas, de 10 a 30 cm de largo. La inflorescencia es una panícula estrecha o racimo de 10 a 15 cm de largo. Sus flores son amarillas vistosas, papilionadas y el fruto es una sámara con una semilla central aplanada (Palacios, 2011).

Esta especie arbórea es usada en sistemas agroforestales como árbol de sombra, bandas de enriquecimiento (en bosques naturales), cultivos mixtos y plantaciones forestales (UICN, 2015). La madera es dura y pesada, se usa para muebles, pisos, ebanistería, carpintería, quillas de barcos y construcciones pesadas (Palacios, 2011).

2.3 Asociación de microorganismos con plantas vasculares

Muchas de las interacciones entre microorganismos y plantas suelen ser beneficiosas. Estas interacciones se pueden dividir en dos clases que son: 1) microorganismos que habitan en la superficie de las plantas (epifitos) y 2) microorganismos que colonizan los tejidos internos de las plantas (endófitos) (Willey, Sherwood, & Woolverton, 2009). Los microorganismos funcionan como poblaciones (conjunto de organismos similares) y como comunidades (mezcla de poblaciones microbianas diferentes) (Prescott, Harley, & Klein, 2002). A su vez, el desarrollo de los microorganismos se da con mayor facilidad en las raíces de plantas, siendo las poblaciones microbianas las de mayor asociación.

Las zonas en rededor de las raíces, en las cuales se dan asociaciones microbianas son: rizósfera, ectorrizósfera, endorrizósfera, rizoplano y suelo no rizosférico (Cardoso & Nogueira, 2007). La rizósfera es el medio más cercano hacia las raíces de las plantas en donde ésta se relacionan con los microorganismos del suelo, debido a los azúcares, aminoácidos, hormonas y vitaminas que secretan las raíces (Madigan, Martinko, & Parker, 2003). Los microorganismos compiten por nutrientes y proliferan gracias a exudados que produce la raíz. Mientras que la

ectorrizósfera comprende la parte externa de la rizósfera y la endorrizósfera los tejidos corticales (Rosenblueth, Martínez, & Martínez, 2001).

El rizoplano es la superficie entre la raíz y el suelo, en cambio, el suelo no rizosférico viene a ser el suelo alejado de las raíces de la planta (Cardoso & Nogueira, 2007). Sin embargo, en la rizósfera es en donde predomina la mayoría de interacciones entre microbios y plantas (Atlas & Bartha, 2002). Siendo así que muchas bacterias y hongos forman microcolonias en la superficie de las raíces para absorber mejor los nutrientes (Madigan M. , Martinko, Dunlap, & Clark, 2009).

2.4 Clasificación de los Hongos

A todo ser vivo que existe en el planeta se lo ha ubicado en reinos, en cuanto a los hongos, se conoce dos esquemas. De acuerdo al esquema de los cinco reinos de Whittaker (1969) y Margulis (1988 – 1996), los hongos pertenecen en parte al reino *Protoctista* (hongos ameboides y hongos con zoosporas) y al reino *Fungi* (el resto), mientras que en el esquema de seis reinos de Cavalier-Smith (2009), los hongos pertenecen en parte al reino *Protozoa* (hongos ameboides), al reino *Chromista* (pseudohongos) y al reino *Fungi* (todos los demás) (Izco, y otros, 2004).

A través del tiempo, la taxonomía de los hongos se ha modificado, hasta el momento la clasificación del 2007 es la vigente, la misma que está basada en las secuencias de ADN que distribuye a los hongos en siete filos. Estos filos son Microsporidia, Chytridiomycota, Blastocladiomycota, Neocallimastigomycota, Glomeromycota, Ascomycota y Basidiomycota. A su vez, se conoce otra clasificación de los hongos, esta va de acuerdo a la morfología de sus hifas; estos son Hongos inferiores (dentro de ella se encuentra al filo Zigomycota) y superiores (Bioenciclopedia, 2015).

En la presente investigación, se encontró solo hongos de los filos Ascomycota, Basidiomycota y Zigomycota. Los hongos del filo Ascomycota presentan células en forma de sacos y en su interior contienen ascosporas (Falconí-Saá, 1998). Este es el filo con el mayor número de hongos (Bioenciclopedia, 2015). Por lo general a estos hongos se los encuentra en suelos de bosques húmedos (Fried, 1990). Por otra parte, los hongos del filo Basidiomycota forman cuerpos fructificación en forma de clava, setas o tipo sombrilla (Fried, 1990). Los más conocidos son los champiñones comestibles (Bioenciclopedia, 2015). En cambio, los hongos del filo Zigomycota producen esporas asexuales no móviles llamadas zigosporas dentro de un esporangio (Falconí-Saá, 1998).

2.5 Funciones de los Hongos

Una de las funciones ecológicas de los hongos es descomponer, esto lo hacen mediante la secreción de enzimas al exterior que convierten los complejos orgánicos en moléculas más simples y asimilables mediante absorción. Así por ejemplo, existen hongos capaces de digerir petróleo o plástico (Nabors, 2006).

Para encontrar, degradar y absorber compuestos orgánicos de otros organismos, los hongos presentan diferentes habilidades como saprófitas, parasíticas, simbiosis mutualista y endófitas. Los hongos saprófitos colonizan material orgánico muerto como madera, hojarasca o animales. También existen hongos parásitos que atacan a organismos vivos, plantas, animales u otros hongos, produciéndoles daños (enfermedades). Ciertos hongos en cambio obtienen nutrientes de otros organismos y ellos les proporcionan ciertos beneficios, generando una simbiosis mutualista o también conocidos como hongos simbiotes, como por ejemplo las micorrizas. Así mismo, existen hongos comensales que viven en asociación con otro organismo vivo sin causarle daño ni tampoco ayudarle, estos son conocidos como hongos endófitos (Piepenbring, López, & Cáceres, 2016).

2.6 Medios de cultivo

Un medio de cultivo es un base nutritiva apta para el crecimiento de microorganismos, mientras que el cultivo es el resultado del desarrollo y multiplicación de un organismo (Totora, Funke, & Case, 2007). Existen cuatro tipos de medios de cultivo, los cuales son: 1) medios generales, 2) medios de enriquecimiento, 3) medios selectivos y 4) medios diferenciales. En esta investigación, se usó medios generales, que permiten el desarrollo de una gran variedad de microorganismo (Gamazo, López, & Díaz, 2005).

En cuanto al aislamiento de hongos, los medios deben contener nutrientes suficientes para el desarrollo y reproducción de los mismos y un pH ligeramente ácido (6 – 6,3). Además se puede añadir antibióticos para inhibir el crecimiento bacteriano. Existen medios de tipo sólido, en los cuales se deben agregar una sustancia solidificante como el agar, el mismo que no proporciona nutrientes sino que sirve para mantener la humedad un poco más de lo habitual. La sustancia solidificante que se usará es el papa dextrosa agar (PDA), un medio muy usado para asilar hongos y levaduras en donde crecen y se reproducen fácilmente (Cañedo & Ames, 2004).

2.7 Diversidad de especies

La variedad biológica se mide con índices que representan la diversidad alfa, beta y gamma, debido a la variabilidad de las comunidades ecológicas en la estructura del paisaje. Primero la diversidad alfa hace referencia a la riqueza de especies de una comunidad particular a la que se considera como homogénea (Moreno, 2001), mientras que la diversidad beta o diversidad entre hábitats, hace mención al cambio en la composición de las especies entre diferentes comunidades en un paisaje (Magurran & Dornelas, 2010). En cambio, la diversidad gamma es la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje (Halffter, Moreno, & Pineda, 2001).

Moreno (2001) menciona que medición de la diversidad alfa, puede representarse por riqueza específica y por la estructura de la comunidad; la riqueza de especies, suele ser evaluada con estimadores hipotéticos de riqueza. La estructura se evalúa con índices que determinan la diversidad (Shannon, 1-Simpson, entre otros) y la equitatividad o distribución proporcional de las especies (Pozo-Rivera, 2017).

La riqueza hace referencia al número total de especies obtenidas por un censo de la comunidad. Para estimarla se puede usar métodos paramétricos y no paramétrico. En esta investigación, se usó métodos no paramétricos debido a que solo se requiere datos de presencia y ausencia y se enfocan en las especies poco abundantes o raras, es decir, las que se presentan solamente en una o dos muestras (Moreno, 2001). Además estos métodos pueden ser utilizados en muestras pequeñas (Gotelli & Colwell, 2011; Chao, 2012; Gotelli & Chao, 2013). Chao 2 es un estimador basado en la incidencia, es decir, datos de presencia o ausencia de una especie en una muestra dada (sólo si está la especie y cuántas veces está esa especie en el conjunto de muestras (Espinosa-Escalante, 2004).

En cambio, la diversidad beta, puede ser medida en función al número de especies, basándose en las proporciones de la presencia-ausencia de especies entre sitios, hábitats o ecosistemas. Estas pueden evaluarse con los índices de similitud, disimilitud o distancia como el de Jaccard, Sorensen, Bray-Curtis, Braun-Blanquet, entre otros. Los índices de similitud tienen que ver con el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas (Moreno, 2001). En esta investigación se usó el índice de Bray-Curtis, el mismo que es usado en ecología y acepta también datos cuantitativos (Núñez-Colín & Escobedo-López, 2011).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Ubicación política

La fase de campo se realizó en las provincias de Orellana y Sucumbíos, en los campos explotación de Petroamazonas EP. Mientras que la fase de laboratorio se llevó a cabo en el Laboratorio de Microbiología de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria de la Universidad de las Fuerzas Armadas, ubicado en la Hacienda “El Prado” (San Fernando, Sangolquí, Rumiñahui), ESPE.

3.2 Ubicación geográfica

La ubicación de los diferentes sitios de muestreo se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1
Ubicación de los sitios de muestreo

PROVINCIA	SITIO PERTURBADO	PARCELA	COORDENADAS	
Orellana	UTSC	Auca 02_D	MO290191	UTM9913436
Sucumbíos	UTSC	CGP Lago 19	NO294572	UTM1014133
	PCPP	Cuyabeno 02	NO357023	UTM1001631
	PCPP	Sansahuari 02	NO356042	UTM1009231
	CLR	Secoya 26	NO322323	UTM1003990
	CLR	Shushufindi Est _40	M313661	UTM9981360
	POTR (testigo)	Los Rivereños	NO300491	UTM1004661
	POTR (testigo)	Secoya 2-3	N323353	UTM1001430

UTSC = unidades de tratamiento de suelos contaminados, PCPP = plataformas que circunscriben a los pozos petroleros, CLR = celdas de lodos y ripios, POTR = potreros (testigo)

3.3 Ubicación ecológica

Las condiciones climáticas de los diferentes sitios de muestreo se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2
Condiciones climáticas de los sitios de muestreo

PROVINCIA	SITIO PERTURBADO	PARCELA	ALTITUD (m snm)	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°)	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)
Orellana	UTSC	Auca 02_D	255	24,8	3319
Sucumbíos	UTSC	CGP Lago 19	300	24,7	3477
	PCPP	Cuyabeno 02	205	25,6	2943
	PCPP	Sansahuari 02	205	25,6	2943
	CLR	Secoya 26	241	25,1	3202
	CLR	Shushufindi Est _40	259	24,8	3447
	POTR (testigo)	Los Rivereños	300	24,7	3477
	POTR (testigo)	Secoya 2-3	241	25,1	3202

Fuente: (CLIMATE-DATA.ORG, 2018)

Ambas provincias presentan una humedad relativa promedio del 85 % (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2015). Su formación ecológica es Bosque húmedo tropical según el Sistema de Zonas de vida de Holdridge - 1971 (IGEOGRAFOS, 2011). Mientras que la formación vegetacional es Bosque siempre verde de tierras bajas de la Amazonía ecuatoriana (Sierra, 1999).

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Selección de especies arbóreas

En base a estudios previos (Villacís, Armas, Hang, & Casanoves, 2016; Villacís, Casanoves, Hang, Keesstra, & Armas, 2016; Espinoza, 2018), se seleccionaron tres especies arbóreas *Piptadenia pteroclada*, *Zigia longifolia* y *Platymiscium pinnatum*. Estas especies presentaron mejor desempeño (adaptación y supervivencia, altura y diámetro al altura del pecho), sobre los sitios perturbados durante los primeros 5 años de edad.

3.4.2 Selección de sitios de muestreo y obtención de la muestra

Los sitios seleccionados corresponden a los suelos afectados por los procesos de extracción de petróleo en la Amazonía ecuatoriana: unidades de tratamiento de suelos contaminados (UTSC), plataformas que circunscriben a los pozos petroleros (PCPP), celdas de lodos y ripios (CLR)) y los potreros (POTR) como testigo.

En el año 2012, se implementaron parcelas rectangulares de 24 x 84 m en cada uno de los sitios. En cada parcela se plantaron 5 individuos de 20 especies arbóreas a una distancia de 4 x 4 m entre individuos, dando una densidad de siembra de 625 árboles/ha. Durante los primeros dos años de plantación se realizaron desbroces de malezas cada seis meses, y a partir del tercer año los desbroces fueron anuales. Durante los primeros cinco años de plantación, los árboles no fueron fertilizados ni se aplicó ningún tipo de control de plagas.

En cada sitio se tomaron cuatro muestras de raíz por árbol, en forma de cruz a una profundidad de hasta 20 cm (Prieto, y otros, 2012) (Figura 1).

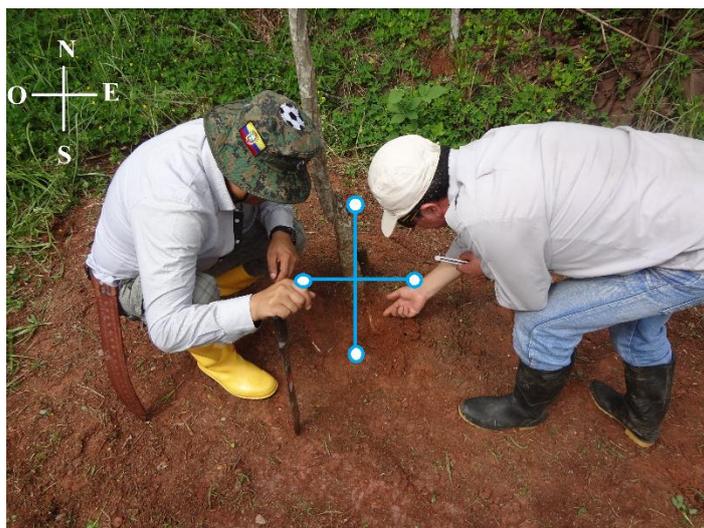


Figura 1 Puntos de colección de las muestras de raíces, alrededor de cada uno de los individuos de las especies arbóreas

Posteriormente, las muestras se dispensaron en tubos de ensayo con agua destilada estéril, se conservaron en cadena de frío y se trasladaron al laboratorio. Finalmente, las muestras fueron almacenadas en refrigeración a 4 °C hasta procesarlas. En total, se colectaron 60 muestras de raíz por parcela, es decir, 480 muestras en las 8 parcelas de muestreo (Anexo 1).

3.4.3 Aislamiento e identificación de hongos

3.4.3.1 Asepsia del material de laboratorio, preparación de medios de cultivo y proceso de siembra

Se usó la metodología de asepsia y preparación de medios de cultivo recomendado por Cañedo & Ames (2004). Para la desinfección de los segmentos de raíz, se preparó una solución de cloro al 1 %, y luego se realizaron dos enjuagues con agua destilada estéril. Por otro parte, para la preparación de medios de cultivo, se usó el papa dextrosa agar (PDA) más Ampicilina Genfar (500 mg) para inhibir el crecimiento bacteriano. Luego se usó la metodología de maceración de raíces según Mier, Toriello, & Ulloa (2002).

3.4.3.2 Proceso de purificación y caracterización microscópica de hongos

Se revisó todo el material almacenado en la incubadora, 72 horas después de la siembra. Después se purificaron las muestras en nuevas cajas Petri con PDA y se desecharon las cajas con muestras contaminadas. Con respecto a la observación de estructuras fúngicas, se siguió la metodología descrita por Cañedo & Ames (2004), para lo cual se preparó una solución de KOH al 3 %, para una mejor observación de las esporas. Para la toma de muestras en las cajas Petri, se usó una cinta adhesiva o impronta, para conservar la yuxtaposición original de las esporas y segmentos de hifas (Koneman, 1987). Finalmente, se observaron las estructuras fúngicas al microscopio (Arenas, 2008) (Anexo 1) y se identificaron utilizando la clave dicotómica Illustrated Genera of Imperfect Fungi (Barnett & Hunter, 1998) y Fitopatología Práctica (Falconí-Saá, 1998).

3.4.4 Diseño experimental

El experimento se dispuso bajo un diseño en parcela dividida, en donde el tipo de suelo (UTSC, PCPP, CLR y POTR¹), constituyó la parcela grande, y la especie arbórea (*Platymiscium pinnatum*, *Zigia longifolia*, *Piptadenia pteroclada*) la parcela pequeña. Cada árbol representó la unidad experimental y en total se evaluaron 120 unidades experimentales. El croquis del experimento se muestra en la Figura 2.

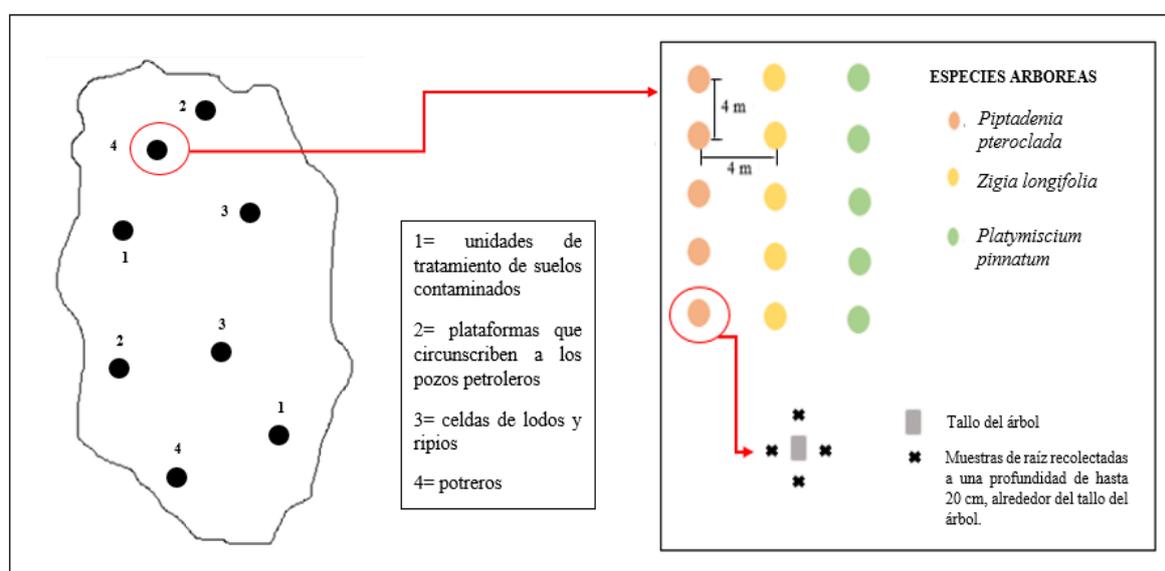


Figura 2 Disposición del experimento en las parcelas experimentales ubicadas en las provincias de Orellana y Sucumbíos, 2018

El modelo matemático del experimento fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + \delta_{k(i)} + E_j + (SE)_{ij} + e_{ijk} \quad , \text{ donde:}$$

Y_{ijk} = Diversidad de morfoespecies fúngicas

μ = Media general

S_i = Efecto del i-ésimo sitio perturbado

¹ UTSC= unidades de tratamiento de suelos contaminados, PCPP= plataformas que circunscriben a los pozos petroleros, CLR= celdas de lodos y ripios y POTR= potreros

$\delta_{k(i)}$ = Error para el sitio perturbado

E_j = Efecto de la j -ésima especie arbórea

$(SE)_{ij}$ = Efecto de la interacción sitio perturbado x especie arbórea

e_{ijk} = Error para la especie arbórea

3.4.5 Métricas de diversidad fúngica

La diversidad de especies fúngicas se evalúa en términos de composición, abundancia, diversidad alfa y similitud de morfoespecies registradas por sitio y por especie arbórea. La composición de morfoespecies se determinó dividiendo la abundancia específica (número de aislamientos encontrados) para la abundancia total (sumatoria de las abundancias específicas).

Para evaluar la abundancia se consideró el número de aislamientos totales obtenidos. Se utilizó el número total de morfoespecies fúngicas como indicador de riqueza específica, esta se evaluó con el estimador no paramétrico Chao 2, el mismo que estima el número de especies esperadas considerando la relación entre el número de especies únicas (que solo aparecen en una muestra) y el número de especies duplicadas (que aparecen compartidas en dos muestras) (Álvarez, y otros, 2004). La diversidad de especies se estimó mediante los índices Shannon-Wiener y 1 – Simpson. Finalmente, para la similitud de morfoespecies se realizó un análisis cluster, basado en el índice de similitud de Bray-Curtis (McAleece, Gage, Lambshead, & Paterson, 1997). Los índices de diversidad y similitud fueron calculados con el programa Biodiversity Pro ® 2.0 (McAleece, Gage, Lambshead, & Paterson, 1997).

3.4.6 Análisis de la información

Para comparar las variables entre sitio perturbado y especies arbóreas, se realizó un análisis de varianza mediante modelos mixtos. Los datos de las variables riqueza específica, abundancia, índice de Shannon-Wiener y 1 - índice de Simpson, fueron transformados mediante la raíz cuadrada.

La homocedasticidad de la riqueza específica y abundancia se modeló utilizando una estructura de varianzas independientes, mientras que las observaciones del índice de Shannon-Wiener y el 1 - índice de Simpson se modelaron utilizando una estructura de varianzas Power. La normalidad se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilks. La selección del modelo que mejor se ajustó a cada una de las variables se basó en los criterios de AIC (criterio de información Akaike) y BIC (criterio de información Bayesiana); el primer criterio escoge el modelo más completo y realiza predicciones más certeras dentro de los propios datos, mientras que el segundo criterio elige un modelo más sencillo y sus predicciones son hechas a menor detalle. Finalmente se realizó la prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) al 5%, para comparar las medias entre sitio perturbado, especies arbóreas e interacciones. Todos los análisis se realizaron en el software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo, y otros, 2015).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Composición de morfoespecies fúngicas, abundancia y riqueza (Diversidad alfa)

Considerando el sitio de perturbación, se realizaron 220 aislamientos pertenecientes a 31 diferentes morfoespecies fúngicas (Anexo 2), que forman parte de las divisiones Ascomycota, Basidiomycota y Zigomycota. Estas morfoespecies están distribuidas en 14 familias y 18 géneros. La familia más representada fue Nectriaceae con dos géneros y siete morfoespecies, seguida de la familia Trichocomaceae con tres géneros y cinco morfoespecies, la familia Hypocreaceae con dos géneros y tres morfoespecies. Las demás familias presentaron una sola morfoespecie.

Cuatro morfoespecies de hongos no fueron identificadas, por lo que se las nombra de acuerdo a sus características morfológicas. El género *Fusarium* presentó seis morfoespecies seguido de *Aspergillus*, *Paecilomyces*, *Rhizoctonia* y *Trichoderma* cada uno con dos diferentes morfoespecies; los demás géneros presentaron una sola morfoespecie. (Tabla 3).

La mayoría de individuos registrados estuvieron concentrados en la morfoespecie *Fusarium* sp. 1 con 16,6 %, seguida de *Fusarium* sp. 3 con 12,9 %, *Paecilomyces* sp. 1 y *Rhizoctonia* sp. 1 con 8,3 % y *Paecilomyces* sp. 2 con 6,5 %. Por sitio perturbado, el que presentó la mayoría de individuos fue CLR, que albergó a la morfoespecie *Fusarium* sp. 1 con 28,3 %; en UTSC fue *Fusarium* sp. 3 con 23,4 %; en POTR fue *Fusarium* sp. 1 con 14,3 % y finalmente en PCPP fue *Paecilomyces* sp. 1 con 13,9 % (Tabla 3). De acuerdo al sitio perturbado, los POTR registraron 19 morfoespecies fúngicas; en las PCPP y CLR se encontraron 17 morfoespecies, y en las UTSC presentaron 13 morfoespecies. Además, los POTR fueron los sitios más poblados, con un total 77 aislamientos, en comparación a los otros sitios (Tabla 3).

Además, *Fusarium* sp. 1, fue la morfoespecie fúngica más numerosa con un total de 36 aislamientos registrados, seguida por *Trichoderma* sp. 1 con 29 aislamientos y *Fusarium* sp. 3 con 28 aislamientos (Tabla 3).

Tabla 3
Composición de morfoespecies fúngicas por sitio perturbado

DIVISIÓN	PCPP	UTSC	CLR	POTR	TOTAL
Familia					
<i>Morfoespecies</i>	<i>ni(Pi)</i>	<i>ni(Pi)</i>	<i>ni(Pi)</i>	<i>ni(Pi)</i>	<i>ni(Pi)</i>
ASCOMYCOTA					
Clavicipitaceae					
<i>Beauveria</i> sp.	1(0,028)	-	1(0,017)	-	2(0,009)
Ceratocystidaceae					
<i>Thielaviopsis</i> sp.	1(0,028)	-	1(0,017)	1(0,013)	3(0,013)
Davidiellaceae					
<i>Cladosporium</i> sp.	1(0,028)	1(0,021)	-	-	2(0,009)
Endomycetaceae					
<i>Geotrichum</i> sp.	-	-	-	1(0,013)	1(0,005)
Helotiaceae					
<i>Varicosporium</i> sp.	-	-	1(0,017)	-	1(0,005)
Hypocreaceae					
<i>Gliocladium</i> sp.	-	-	1(0,017)	-	1(0,005)
<i>Trichoderma</i> sp. 1	4(0,111)	6(0,128)	13(0,217)	6(0,078)	29(0,134)
<i>Trichoderma</i> sp. 2	-	1(0,021)	3(0,05)	1(0,013)	5(0,023)
Melanconiaceae					
<i>Pestalotia</i> sp.	-	-	1(0,017)	6(0,078)	7(0,032)
Myxotrichaceae					
<i>Oidiodendron</i> sp.	-	-	1(0,017)	-	1(0,005)
Nectriaceae					
<i>Cylindrocarpon</i> sp.	-	1(0,021)	-	2(0,026)	3(0,013)
<i>Fusarium</i> sp. 1	2(0,056)	6(0,128)	17(0,283)	11(0,143)	36(0,166)
<i>Fusarium</i> sp. 2	1(0,028)	1(0,021)	1(0,017)	3(0,039)	6(0,028)
<i>Fusarium</i> sp. 3	-	11(0,234)	8(0,133)	9(0,117)	28(0,129)
<i>Fusarium</i> sp. 4	-	-	-	4(0,052)	4(0,018)
<i>Fusarium</i> sp. 5	-	-	-	2(0,026)	2(0,009)
<i>Fusarium</i> sp. 6	-	-	-	6(0,078)	6(0,028)
Sclerotiniaceae					
<i>Monilia</i> sp.	3(0,083)	-	-	2(0,026)	5(0,023)
Trichocomaceae					
<i>Aspergillus</i> sp. 1	2(0,056)	-	-	-	2(0,009)
<i>Aspergillus</i> sp. 2	2(0,056)	3(0,064)	-	-	5(0,023)
<i>Paecilomyces</i> sp. 1	5(0,139)	7(0,149)	2(0,033)	4(0,052)	18(0,083)

CONTINÚA 

<i>Paecilomyces</i> sp. 2	3(0,083)	6(0,128)	3(0,05)	2(0,026)	14(0,065)
<i>Penicillium</i> sp.	4(0,111)	-	-	-	4(0,019)
Vibrisseaceae					
<i>Phialocephala</i> sp.	1(0,028)	-	-	-	1(0,005)
BASIDIOMYCOTA					
Agonomycetaceae					
<i>Rhizoctonia</i> sp. 1	3(0,083)	2(0,043)	3(0,05)	10(0,13)	18(0,083)
<i>Rhizoctonia</i> sp. 2	1(0,028)	1(0,021)	-	1(0,013)	3(0,014)
ZYGOMYCOTA					
Mucoraceae					
<i>Rhizopus</i> sp.	-	1(0,021)	-	-	1(0,005)
*Hongo blanco, algodonoso, esporas cilíndricas.	-	-	2(0,033)	-	2(0,009)
*Hongo cenocítico, sin esporas.	-	-	1(0,017)	4(0,052)	5(0,023)
*Hongo negro, micelio septado, sin esporas.	1(0,028)	-	1(0,017)	2(0,026)	4(0,019)
*Hongo negro, con esporas.	1(0,028)	-	-	-	1(0,005)
<i>S</i>	17	13	17	19	31
<i>N</i>	36	47	60	77	220

S = riqueza específica, *N* = abundancia, *ni* = número de individuos de la morfoespecie *i*, *Pi* = abundancia de la *i*-ésima morfoespecie (abundancia proporcional); UTSC = unidades de tratamiento de suelos contaminados, PCPP = plataformas que circunscriben a los pozos petroleros, CLR = celdas de lodos y ripios, POTR = potreros (testigo)

La mayoría de individuos registrados estuvieron concentrados en la morfoespecie *Fusarium* sp. 1 con 16,5 %, seguida de *Trichoderma* sp. 1 con 13,3 % y *Fusarium* sp. 3 con 12,9 %. En cuanto a las especies arbóreas, *Piptadenia pteroclada*, albergó a la morfoespecie *Fusarium* sp. 3 en un 24,3 %; en *Zigia longifolia* se encontró a *Fusarium* sp. 1 en un 16,9 % y en *Platymiscium pinnatum* se registró a *Fusarium* sp. 1 con 14,3 %. Además *Zigia longifolia* presentó una riqueza de 26 morfoespecies fúngicas, seguida de *Platymiscium pinnatum* con 19 morfoespecies y *Piptadenia pteroclada* con 17 morfoespecies. (Tabla 4).

Tabla 4
Composición de morfoespecies fúngicas por especie arbórea

DIVISIÓN	Pi pt	Zi lo	Pl pi	TOTAL
Familia	<i>ni(Pi)</i>	<i>ni(Pi)</i>	<i>ni(Pi)</i>	<i>ni(Pi)</i>
ASCOMYCOTA				
Clavicipitaceae				
<i>Beauveria</i> sp.	-	1(0,012)	1(0,016)	2(0,009)
Ceratocystidaceae				
<i>Thielaviopsis</i> sp.	-	2(0,024)	1(0,016)	3(0,014)
Davidiellaceae				
<i>Cladosporium</i> sp.	-	1(0,012)	1(0,016)	2(0,009)
Endomycetaceae				
<i>Geotrichum</i> sp.	-	1(0,012)	-	1(0,005)
Helotiaceae				
<i>Varicosporium</i> sp.	1(0,014)	-	-	1(0,005)
Hypocreaceae				
<i>Gliocladium</i> sp.	1(0,014)	-	-	1(0,005)
<i>Trichoderma</i> sp. 1	14(0,189)	8(0,096)	7(0,111)	29(0,133)
<i>Trichoderma</i> sp. 2	3(0,041)	2(0,024)	-	5(0,023)
Melanconiaceae				
<i>Pestalotia</i> sp.	2(0,027)	1(0,012)	4(0,063)	7(0,032)
Myxotrichaceae				
<i>Oidiodendron</i> sp.	-	1(0,012)	-	1(0,005)
Nectriaceae				
<i>Cylindrocarpon</i> sp.	-	1(0,012)	2(0,032)	3(0,014)
<i>Fusarium</i> sp. 1	13(0,176)	14(0,169)	9(0,143)	36(0,165)
<i>Fusarium</i> sp. 2	1(0,014)	3(0,036)	2(0,032)	6(0,028)
<i>Fusarium</i> sp. 3	18(0,243)	5(0,06)	5(0,079)	28(0,129)
<i>Fusarium</i> sp. 4	1(0,014)	3(0,036)	-	4(0,018)
<i>Fusarium</i> sp. 5	-	-	2(0,032)	2(0,009)
<i>Fusarium</i> sp. 6	1(0,014)	3(0,036)	2(0,032)	6(0,028)
Sclerotiniaceae				
<i>Monilia</i> sp.	1(0,014)	4(0,048)	-	5(0,023)
Trichocomaceae				
<i>Aspergillus</i> sp. 1	-	2(0,024)	-	2(0,009)
<i>Aspergillus</i> sp. 2	3(0,041)	2(0,024)	-	5(0,023)
<i>Paecilomyces</i> sp. 1	3(0,041)	7(0,084)	8(0,127)	18(0,082)
<i>Paecilomyces</i> sp. 2	5(0,068)	6(0,072)	3(0,048)	14(0,064)
<i>Penicillium</i> sp.	-	2(0,024)	2(0,032)	4(0,018)
Vibrisseaceae				
<i>Phialocephala</i> sp.	1(0,014)	-	-	1(0,005)

CONTINÚA →

BASIDIOMYCOTA

Agonomiacea

<i>Rhizoctonia</i> sp. 1	3(0,041)	2(0,024)	3(0,048)	10(0,045)
<i>Rhizoctonia</i> sp. 2	1(0,014)	1(0,012)	-	1(0,005)

ZYGOMYCOTA

Mucoraceae

<i>Rhizopus</i> sp.	-	1(0,012)	-	1(0,005)
---------------------	---	----------	---	----------

*Hongo blanco, algodonoso, esporas cilíndricas.

*Hongo cenocítico, sin esporas.

*Hongo negro, micelio septado, sin esporas.

*Hongo negro, con esporas.

<i>S</i>	17	26	19	31
<i>N</i>	74	83	63	220

S = riqueza específica, *N* = abundancia, *ni* = número de individuos de la morfoespecie *i*, *Pi* = abundancia de la *i*-ésima morfoespecie (abundancia proporcional); UTSC = unidades de tratamiento de suelos contaminados, PCPP = plataformas que circunscriben a los pozos petroleros, CLR = celdas de lodos y ripios, POTR = potreros (testigo)

En cuanto a los sitios evaluados, dentro de las plataformas que circunscriben a los pozos petroleros (PCPP), *Zigia longifolia* registró 13 morfoespecies asociadas a su sistema radicular y una abundancia de 22 aislamientos (Tabla 5).

Tabla 5

Composición de morfoespecies fúngicas en plataformas que circunscriben a los pozos petroleros (PCPP)

MORFOESPECIE FÚNGICA	Pi pt	Zi lo	Pl pi	TOTAL
<i>Aspergillus</i> sp. 1	-	2	-	2
<i>Aspergillus</i> sp. 2	-	2	-	2
<i>Beauveria</i> sp.	-	1	-	1
<i>Cladosporium</i> sp.	-	-	1	1
<i>Fusarium</i> sp. 1	-	2	-	2
<i>Fusarium</i> sp. 2	-	1	-	1
Hongo negro, con esporas.	-	1	-	1
Hongo negro, micelio septado, sin esporas.	1	-	-	1

CONTINÚA 

<i>Monilia</i> sp.	-	3	-	3
<i>Paecilomyces</i> sp. 1	-	2	3	5
<i>Paecilomyces</i> sp. 2	-	2	1	3
<i>Penicillium</i> sp.	-	2	2	4
<i>Phialocephala</i> sp.	1	-	-	1
<i>Rhizoctonia</i> sp. 1	-	2	1	3
<i>Rhizoctonia</i> sp. 2	-	-	1	1
<i>Thielaviopsis</i> sp.	-	1	-	1
<i>Trichoderma</i> sp. 1	2	1	1	4
<i>S</i>	3	13	7	17
<i>N</i>	4	22	10	36

S=riqueza específica, *N*= abundancia; Pi pt=*Piptadenia pteroclada*, Zi lo= *Zigia longifolia*, y Pl pi=*Platymiscium pinnatum*

En las unidades de tratamiento de suelos contaminados (UTSC), *Zigia longifolia* registró 9 morfoespecies asociadas a su sistema radicular, sin embargo, *Piptadenia pteroclada* registró una abundancia de 24 aislamientos (Tabla 6).

Tabla 6
Composición de morfoespecies fúngicas en unidades de tratamiento de suelos contaminados (UTSC)

MORFOESPECIE FÚNGICA	Pi pt	Zi lo	Pl pi	TOTAL
<i>Aspergillus</i> sp. 2	3	-	-	3
<i>Cladosporium</i> sp.	-	1	-	1
<i>Cylindrocarpon</i> sp.	-	1	-	1
<i>Fusarium</i> sp. 1	2	2	2	6
<i>Fusarium</i> sp. 2	-	-	1	1
<i>Fusarium</i> sp. 3	9	2	-	11
<i>Paecilomyces</i> sp. 1	1	3	3	7
<i>Paecilomyces</i> sp. 2	3	3	-	6
<i>Rhizoctonia</i> sp. 1	1	1	-	2
<i>Rhizoctonia</i> sp. 2	-	1	-	1
<i>Rhizopus</i> sp.	-	1	-	1
<i>Trichoderma</i> sp. 1	4	-	2	6
<i>Trichoderma</i> sp. 2	1	-	-	1
<i>S</i>	8	9	4	13
<i>N</i>	24	15	8	47

S=riqueza específica, *N*= abundancia; Pi pt=*Piptadenia pteroclada*, Zi lo= *Zigia longifolia*, y Pl pi=*Platymiscium pinnatum*

En las celdas de lodos y ripios (CLR), *Piptadenia pteroclada* registró 11 morfoespecies asociadas a su sistema radicular y una abundancia de 26 aislamientos (Tabla 7).

Tabla 7
Composición de morfoespecies fúngicas en celdas de lodos y ripios (CLR)

MORFOESPECIE FÚNGICA	Pi pt	Zi lo	Pl pi	TOTAL
<i>Beauveria</i> sp.	-	-	1	1
<i>Fusarium</i> sp. 1	9	4	4	17
<i>Fusarium</i> sp. 2	1	-	-	1
<i>Fusarium</i> sp. 3	6	-	2	8
<i>Gliocladium</i> sp.	1	-	-	1
Hongo cenocítico, sin esporas.	-	1	-	1
Hongo negro, micelio septado, sin esporas.	-	-	1	1
<i>Oidiodendron</i> sp.	-	1	-	1
Hongo blanco, algodonoso, esporas cilíndricas.	-	-	2	2
<i>Paecilomyces</i> sp. 1	1	-	1	2
<i>Paecilomyces</i> sp. 2	1	1	1	3
<i>Pestalotia</i> sp.	1	-	-	1
<i>Rhizoctonia</i> sp. 1	2	-	1	3
<i>Thielaviopsis</i> sp.		1	-	1
<i>Trichoderma</i> sp. 1	2	7	4	13
<i>Trichoderma</i> sp. 2	1	2	-	3
<i>Varicosporium</i> sp.	1	-	-	1
<i>S</i>	11	7	9	17
<i>N</i>	26	17	17	60

S=riqueza específica, *N*= abundancia; Pi pt=*Piptadenia pteroclada*, Zi lo= *Zigia longifolia*, y Pl pi = *Platymiscium pinnatum*

Por último, en los potreros (POTR), *Zigia longifolia* y *Platymiscium pinnatum* registraron 13 morfoespecies asociadas a su sistema radicular, a su vez, ambas especies arbóreas presentaron una abundancia de 29 y 28 aislamientos, respectivamente (Tabla 8).

Tabla 8
Composición de morfoespecies fúngicas en potreros (POTR)

MORFOESPECIE FÚNGICA	Pi pt	Zi lo	Pl pi	TOTAL
<i>Cylindrocarpon</i> sp.	-	-	2	2
<i>Fusarium</i> sp. 1	2	6	3	11
<i>Fusarium</i> sp. 2	-	2	1	3
<i>Fusarium</i> sp. 3	3	3	3	9
<i>Fusarium</i> sp. 4	1	3	-	4
<i>Fusarium</i> sp. 5	-	-	2	2
<i>Fusarium</i> sp. 6	1	3	2	6
<i>Geotrichum</i> sp.	-	1	-	1
Hongo cenocítico, sin esporas.	-	3	1	4
Hongo negro, micelio septado, sin esporas.	-	1	1	2
<i>Monilia</i> sp.	1	1	-	2
<i>Paecilomyces</i> sp. 1	1	2	1	4
<i>Paecilomyces</i> sp. 2	1	-	1	2
<i>Pestalotia</i> sp.	1	1	4	6
<i>Rhizoctonia</i> sp. 1	2	2	6	10
<i>Rhizoctonia</i> sp. 2	-	1	-	1
<i>Thielaviopsis</i> sp.	-	-	1	1
<i>Trichoderma</i> sp. 1	6	-	-	6
<i>Trichoderma</i> sp. 2	1	-	-	1
<i>S</i>	11	13	13	19
<i>N</i>	20	29	28	77

S=riqueza específica, *N*= abundancia; Pi pt=*Piptadenia pteroclada*, Zi lo= *Zigia longifolia*, y Pl pi= *Platymiscium pinnatum*

4.1.1.1 Estimador de riqueza Chao 2

Según el estimador no paramétrico Chao 2, en los sitios perturbados se registraron entre 13 y 19 morfoespecies fúngicas en las raíces de las especies arbóreas *Piptadenia pteroclada*, *Zigia longifolia* y *Platymiscium pinnatum*, lo que representa entre el 39 y 100 % de las especies esperadas, respectivamente (Tabla 9).

Tabla 9

Análisis de morfoespecies fúngicas según el estimador no paramétrico de riqueza Chao 2 para el cada sitio perturbado

SITIO PERTURBADO	MORFOESPECIES REGISTRADAS	MORFOESPECIES ESPERADAS	CHAO 2 (%)
PCPP	17	16	100
UTSC	13	33	39
CLR	17	42	40
POTR (testigo)	19	43	44

UTSC = unidades de tratamiento de suelos contaminados, PCPP = plataformas que circunscriben a los pozos petroleros, CLR = celdas de lodos y ripios, POTR = potreros (testigo)

En las raíces de las tres especies arbóreas *Piptadenia pteroclada*, *Zigia longifolia* y *Platymiscium pinnatum*, se registró entre 17 y 26 morfoespecies fúngicas, lo que representa entre el 53 y 83 % de las especies esperadas (Tabla 10).

Tabla 10

Análisis de morfoespecies fúngicas según el estimador no paramétrico de riqueza Chao 2 para las especies arbóreas

ESPECIE ARBÓREA	MORFOESPECIES REGISTRADAS	MORFOESPECIES ESPERADAS	CHAO 2 (%)
<i>Piptadenia pteroclada</i>	17	21	83
<i>Zigia longifolia</i>	26	38	68
<i>Platymiscium pinnatum</i>	19	36	53

Piptadenia pteroclada=Guarango espinudo, *Zigia longifolia*=Chíparo, y *Platymiscium pinnatum*=Caoba

4.1.2 Similitud de morfoespecies fúngicas (Diversidad beta)

Considerando el índice de Bray-Curtis, los sitios más similares fueron CLR y POTR con un 55,5 %; este conglomerado presentó una similitud al 54,2 % con UTSC y a su vez este segundo conglomerado fue similar a PCPP en un 50,6 % (Figura 4a). Por otra parte, *Zigia longifolia* y *Platymiscium pinnatum* comparten el 68,5 % de las morfoespecies fúngicas, estas especies arbóreas conforman un conglomerado que es similar a *Piptadenia pteroclada* en un 62,4 % de las morfoespecies fúngicas (Figura 4b).

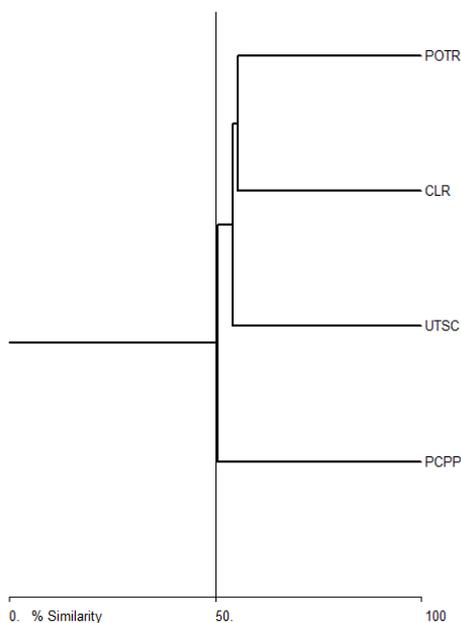
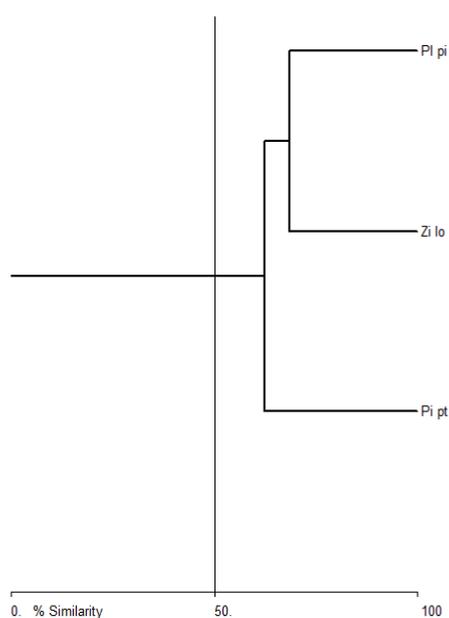
a**b**

Figura 3 Dendrograma de Bray-Curtis de las morfoespecies fúngicas por a=sitio perturbado (PCPP=plataformas que circunscriben a los pozos petroleros, UTSC=unidades de tratamiento de suelos contaminados, CLR=celdas de lodos y ripios, y POTR=potreros) y b= especie arbórea (Pi pt= *Piptadenia pteroclada*, Zi lo= *Zigia longifolia*, y Pl pi= *Platymiscium pinnatum*)

En las parcelas de PCPP, CLR y POTR, las especies arbóreas *Zigia longifolia* y *Platymiscium pinnatum* compartieron la mayor cantidad de morfoespecies fúngicas (43,8 %; 52,9 % y 52,6 %; Figs. 4a, 4c, 4d; tan solo en las parcelas de UTSC, las especies arbóreas *Piptadenia pteroclada* y *Zigia longifolia* formaron un conglomerado que es similar en un 46,2 % y estas a su vez, presentan una similitud del 43,5 % con *Platymiscium pinnatum* (Figura 4b).

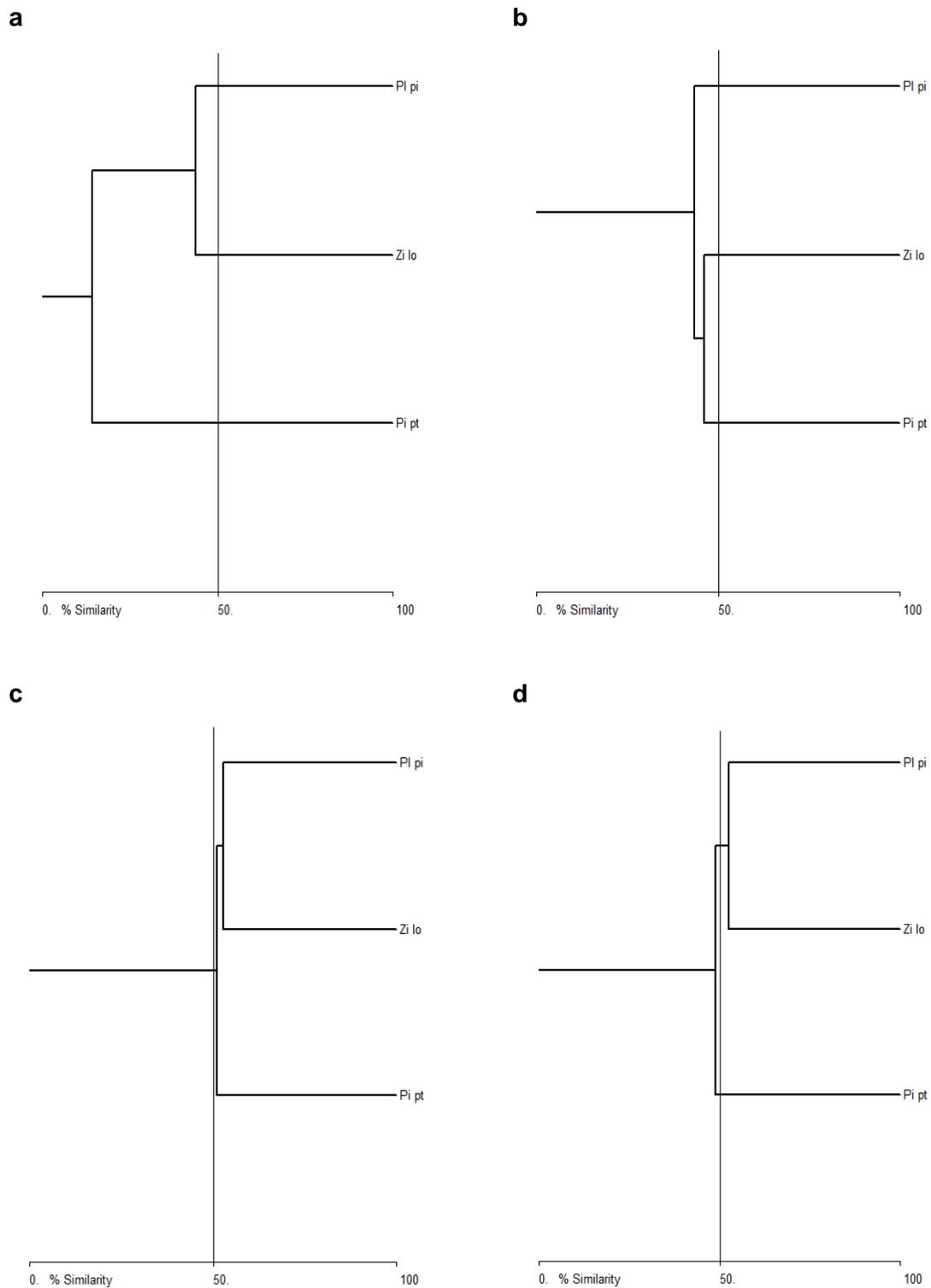


Figura 4 Dendrogramas de Bray-Curtis de las morfoespecies fúngicas de a=PCPP, b=UTSC, c=CLR y d=POTR; Pi pt=*Piptadenia pteroclada*, Zi lo= *Zigia longifolia*, y Pl pi=*Platymiscium pinnatum*

4.1.3 Diferencias entre la abundancia, riqueza y diversidad de las morfoespecies fúngicas

La riqueza de morfoespecies fúngicas no mostró un efecto significativo para el sitio perturbado ($F=2,52$; $p=0,062$), para la especie arbórea ($F=0,54$; $p=0,5829$), ni para la interacción sitio perturbado \times especie arbórea ($F=1,98$; $p=0,0763$). Para las variables abundancia ($F=2,30$; $p=0,0404$), índice de Shannon-Wiener ($F=2,17$; $p=0,0520$) e índice de Simpson ($F=2,59$; $p=0,0224$) se encontró un efecto significativo de la interacción sitio perturbado \times especie arbórea. Las especies arbóreas *Piptadenia pteroclada* y *Platymiscium pinnatum* presentes en las plataformas que circunscriben a los pozos petroleros, y *Zigia longifolia* y *Platymiscium pinnatum* presentes en las unidades de tratamiento de suelos contaminados, mostraron menor abundancia que el resto de especies de los otros sitios. Por otro lado, la especie *Piptadenia pteroclada* presente en las plataformas que circunscriben a los pozos petroleros mostró menores índices de diversidad (Shannon-Wiener y de 1-Simpson) que el resto de especies plantadas en los demás sitios (Tabla 11).

Tabla 11

Promedio \pm error estándar de los índices de diversidad alfa de las morfoespecies fúngicas de acuerdo al sitio perturbado y a la especie arbórea

SITIO PERTURBADO	ESPECIE ARBÓREA	S	N	H'	I - D
PCPP	<i>Piptadenia pteroclada</i>	0,40 \pm 0,16 a	0,40 \pm 0,16 b	0,00 \pm 0,00 b	0,00 \pm 0,00 b
PCPP	<i>Zigia longifolia</i>	2,00 \pm 0,54 a	2,20 \pm 0,61 a	0,57 \pm 0,21 a	0,33 \pm 0,11 a
PCPP	<i>Platymiscium pinnatum</i>	0,90 \pm 0,35 a	1,00 \pm 0,42 b	0,24 \pm 0,13 a	0,16 \pm 0,08 a
UTSC	<i>Piptadenia pteroclada</i>	2,25 \pm 0,45 a	3,00 \pm 0,63 a	0,68 \pm 0,18 a	0,50 \pm 0,11 a
UTSC	<i>Zigia longifolia</i>	1,40 \pm 0,48 a	1,60 \pm 0,52 b	0,42 \pm 0,18 a	0,25 \pm 0,11 a
UTSC	<i>Platymiscium pinnatum</i>	1,00 \pm 0,31 a	1,14 \pm 0,34 b	0,20 \pm 0,13 a	0,14 \pm 0,09 a
CLR	<i>Piptadenia pteroclada</i>	1,90 \pm 0,23 a	2,70 \pm 0,45 a	0,45 \pm 0,13 a	0,50 \pm 0,12 a
CLR	<i>Zigia longifolia</i>	1,40 \pm 0,40 a	1,70 \pm 0,54 a	0,27 \pm 0,16 a	0,22 \pm 0,12 a
CLR	<i>Platymiscium pinnatum</i>	1,56 \pm 0,38 a	2,00 \pm 0,47 a	0,35 \pm 0,16 a	0,30 \pm 0,13 a
POTR (testigo)	<i>Piptadenia pteroclada</i>	2,25 \pm 0,65 a	2,38 \pm 0,71 a	0,63 \pm 0,25 a	0,35 \pm 0,13 a
POTR (testigo)	<i>Zigia longifolia</i>	2,20 \pm 0,83 a	2,70 \pm 1,07 a	0,64 \pm 0,24 a	0,34 \pm 0,12 a
POTR (testigo)	<i>Platymiscium pinnatum</i>	2,33 \pm 0,87 a	3,11 \pm 1,17 a	0,67 \pm 0,27 a	0,33 \pm 0,13 a

Medias con letras diferentes en la misma columna difieren estadísticamente (DGC; $p < 0,05$); S= riqueza específica, N = abundancia, H' = índice de Shannon-Wiener, I - D = 1 - índice de Simpson, PCPP = plataformas que circunscriben a los pozos petroleros, UTSC = unidades de tratamiento de suelos contaminados, CLR = celdas de lodos y rípios, POTR = potreros

4.2 Discusión

Los resultados en este estudio proporcionan información sobre la presencia de ciertas morfoespecies de hongos que habitan en las raíces de tres especies arbóreas que fueron plantadas hace cinco años, como medida de revegetación en suelos afectados por las actividades petroleras en la Amazonía ecuatoriana.

4.2.1 Diversidad de morfoespecies fúngicas

En los 220 aislamientos se encontraron 31 morfoespecies fúngicas, como hongos fitopatógenos, saprófitos, patógenos naturales, endófitos, entomopatógenos y antagonistas. El género *Fusarium* presentó mayor número de morfoespecies, lo que puede deberse a que los hongos de este género tienen un amplio rango de distribución en el suelo (Ma, y otros, 2013). Además *Fusarium* tiene la capacidad de sobrevivir en diversos suelos en estado de latencia por largos periodos de tiempo, en forma de clamidospora (Islam, 2015), lo ayuda a que ellos colonicen las raíces de las plantas (Ma, y otros, 2013).

En este estudio, se encontraron seis morfoespecies de *Fusarium* diferenciadas por las tonalidades de color de las colonias aisladas (blanco-transparente, centro púrpura, rosa, verde, amarillo, negro), esto concuerda con estudios previos realizados por Villanueva-Arce y otros (2013) quienes afirman que las diversas especies de *Fusarium* presentan, en medios de cultivo, coloraciones que van desde colonias blancas, cremas, naranjas, pardas, pardo-rojizas, rojo carmín, rosa, púrpura e incluso azuladas; sin embargo, es necesario realizar un análisis molecular para confirmar las morfoespecies registradas.

Por su parte, *Aspergillus* y *Rhizoctonia* (hongos fitopatógenos), *Paecilomyces* (hongo entomopatógeno) y *Trichoderma* (hongo antagonista) presentaron cada uno dos diferentes morfoespecies. La presencia de *Aspergillus* en los diferentes suelos perturbados, puede deberse a que este género de hongo tiene la capacidad de desarrollarse en suelos contaminados por

hidrocarburos y son capaces de sobrevivir a condiciones adversas, debido a su diverso sistema enzimático. Además es uno de los hongos más abundantes en los ecosistemas terrestres (April, Foght, & Currah, 2000).

Por otro lado, la presencia de *Rhizoctonia* puede deberse a que son fitopatógenos comunes en el suelo, además desarrollan ciertas interacciones planta – patógeno dependiendo del nicho ecológico donde estén presentes (Herrera-Isla, 2012). Además, la presencia de hongos benéficos como *Paecilomyces*, se explica debido a que es un hongo que habita de manera natural en cualquier tipo de suelo; también es muy versátil ya que dependiendo del medio donde se encuentre, puede actuar como entomopatógeno, nematófago, micoparásito o saprófito (Cañón-Rubio & Sanabria-Ramos, 2017). También, es conocido por ser un controlador de poblaciones de nemátodos ya que ataca a huevos, juveniles y hembras (Schenck, 2004).

El género *Trichoderma*, agrupó a 29 aislamientos lo que puede deberse a que estos hongos suelen desarrollarse no solamente en suelos, sino también cerca de las raíces de las plantas; también van colonizando el xilema, floema y médula de los árboles. Además, por ser uno de los agentes de control biológico más eficaces, es capaz de controlar poblaciones o comunidades de diversos hongos y nemátodos, ayudando de esta forma al equilibrio de los ecosistemas terrestres (Jankowiak, 2006).

Las morfoespecies fúngicas negras con hifas sifonadas o cenocíticas encontradas son llamadas pseudohongos (reino *Chromista* o también conocido como *Straminipila*). Estos organismos presentan un micelio filamentoso sin septos o sifonado (cenocítico), con la excepción de ciertos individuos que se forman en la base de esporangios y gametangios. Los pseudohongos más evolucionados suelen parasitar plantas vasculares (Izco, y otros, 2004).

Las morfoespecies fúngicas negras septadas encontradas, que fueron de difícil identificación, podrían ser llamados endófitos septados oscuros (DSE). Estos hongos habitan

de manera natural en la mayoría de suelos y presentan una relación cercana con las raíces (Menkis, y otros, 2004). Asimismo, Jumpponen & Trappe (1998) mencionan que las especies descritas de este grupo de hongos forman parte de la división Ascomycota, y suelen ser endófitos que colonizan las células corticales y regiones intercelulares de las raíces (Yu, Nassuth, & Peterson, 2001). Además la presencia de estos organismos en los sitios de estudio, puede haberse dado ya que los DSE están distribuidos en los diversos ecosistemas con diferentes condiciones climáticas formando interacciones planta-endófito (Mandyam & Jumpponen, 2005).

No se alcanzó a registrar, en todos los sitios perturbados al 100 % de las especies esperadas con el estimador Chao 2, esto podría deberse a que en el presente estudio se evaluó solamente a tres de las 20 especies arbóreas plantadas como medida de remediación de los sitios alterados (Villacís, Casanoves, Hang, Keesstra, & Armas, 2016), por lo tanto el estimador Chao 2 podría subir ostensiblemente si se realiza un estudio de riqueza fúngica a todas las especies arbóreas involucradas en las parcelas.

4.2.2 Diferencias entre la abundancia, riqueza y diversidad de las morfoespecies

La riqueza de hongos fue igual en todos los sitios y las especies evaluadas. Este resultado difiere a lo señalado por Uribe-Hernández (2010), quienes manifiestan que la riqueza de la microfauna del suelo disminuye en suelos contaminados. Con respecto a la abundancia de morfoespecies fúngicas, esta varió de acuerdo al sitio. Esta respuesta pudo deberse a que la microbiota del suelo es afectada por cambios en las propiedades físico-químicas (pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, potencial redox, textura, estructura), biológicas (poblaciones, comunidades, diversas interacciones entre microorganismos o interacciones planta-microorganismos) y por la presencia de contaminantes en el suelo (Neiendam-Nielsen & Winding, 2002). Los suelos perturbados tienen propiedades físicas y químicas diferentes a los

suelos no perturbados (Espinoza, 2018). De igual manera el crecimiento de los árboles de las especies arbóreas evaluadas difiere entre sitios perturbados y no perturbados desde el primer año del establecimiento de la plantación (Ulcuango, 2014; Villacís y otros 2016; Espinoza, 2018). Por lo tanto, es probable que estas diferencias en las características del suelo y en el crecimiento de las especies expliquen las diferencias en la abundancia y diversidad de hongos presentes en las raíces de los árboles de las especies arbóreas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las raíces de las tres especies arbóreas *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* y *Piptadenia pteroclada* presentaron un total de 220 aislamientos pertenecientes a 31 morfoespecies fúngicas en todos los sitios de estudio.

Las morfoespecies fúngicas registradas forman parte de las divisiones Ascomycota, Basidiomycota y Zigomycota, distribuidas en 14 familias y 18 géneros. La familia más representada fue Nectriaceae con dos géneros y siete morfoespecies, seguida de la familia Trichocomaceae con tres géneros y cinco morfoespecies, la familia Hypocreaceae con dos géneros y tres morfoespecies.

El género *Fusarium* presentó seis morfoespecies, seguido de *Aspergillus*, *Paecilomyces*, *Rhizoctonia* y *Trichoderma* cada uno con dos diferentes morfoespecies.

Las especies *Piptadenia pteroclada* y *Platymiscium pinnatum* de las plataformas, y *Zygia longifolia* y *Platymiscium pinnatum* de suelos contaminados, exhibieron menor abundancia que el resto de especies en los otros sitios.

La especie *Piptadenia pteroclada* de las plataformas presentó menor diversidad fúngica que *Platymiscium pinnatum* y *Zygia longifolia* presente en los demás sitios.

5.2 Recomendaciones

Evaluar otros grupos taxonómicos indicadores de calidad ambiental en *Piptadenia pteroclada*, *Zygia longifolia* y *Platymiscium pinnatum*.

Determinar la identidad genética de las morfoespecies registradas en el estudio, mediante análisis moleculares.

Evaluar la composición de especies de hongos asociados a la rizósfera y rizoplano del suelo en los sitios objeto de estudio de la presente investigación.

5.3 Bibliografía

- Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., . . . Villarreal, H. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Bogotá, Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A. Recuperado el 5 de 8 de 2018, de https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/pdf/villareal_et_al_2004.pdf
- Anderson, M. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26(1), 2-46.
- April, T. M., Foght, J. M., & Currah, R. S. (2000). Hydrocarbon-degrading filamentous fungi isolated from flare pit soils in northern and western Canada. *Canadian Journal of Microbiology*, 46(1), 38-49. doi: <https://doi.org/10.1139/w99-117>
- Arenas, R. (2008). *Micología médica ilustrada*. México, D.F.: McGraw Hill.
- Arias, L. (2015). Aves atraídas por la floración de *Zygia longifolia* (Fabaceae), en el Valle de El General. *Zeledonia*, 19(1), 42-43.
- Atlas, R., & Bartha, R. (2002). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- Ballesteros, C. (2007). Tesis de pregrado. *Manejo de los Residuos en el Proceso de Perforación mediante la evaluación del cumplimiento técnico y legal de los diferentes sistemas para el tratamiento y disposición de dichos residuos* . Guayas, Ecuador. Obtenido de https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6150/5/Parte%20Segunda_TesisCBV.pdf
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1998). *Illustrated Genera od Imperfect Fungi* (Cuarta edición ed.).
- Bioenciclopedia. (2015). *Reino Fungi*. Obtenido de <http://www.bioenciclopedia.com/reino-fungi/>

- Cañedo, V., & Ames, T. (2004). *Manual de Laboratorio para el manejo de Hongos Entomopatógenos*. Lima, Perú.
- Cañón-Rubio, D., & Sanabria-Ramos, S. C. (2017). Tesis de pregrado. "Evaluación de la acción de los hongos *Paecilomyces lilacinus*, *Trichoderma harzianum* y *Lecanicillium lecanii* sobre el nematodo *Globodera pallida* Stone (Behrens) en plantas de papa variedad criolla galeras. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://repository.udca.edu.co:8080/jspui/bitstream/11158/764/1/Trabajo%20de%20Grado%20Tesis%20Escrito.pdf>
- Cardoso, E., & Nogueira, M. (2007). A Rizosfera e seus Efeitos na Comunidade Icrobiana e na Nutricao de Planta. En A. Dias, & S. dos Santos, *Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental* (pág. 312). Campiñas, Brasil. Obtenido de http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/microbiota.pdf
- Chao, J. L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93, 2533-2547.
- CLIMATE-DATA.ORG. (2018). *CLIMATE-DATA.ORG*. Recuperado el 11 de junio de 2018, de <https://es.climate-data.org/location/2975/>
- De la Peña-Cuéllar, E., Stoner , K., Ávila-Cabadilla, L., Martínez-Ramos, M., & Estrada, A. (2012). Phyllostomid bat assemblage in different successional stages of tropical forest in Chiapas, México. *Biodiversity and Conservation*, 21, 1381-1397.
- De la Salas, G. (1987). *Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América tropical*. San José, Costa Rica: IICA. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=hC4Fdd-LhNsC&oi=fnd&pg=PR14&dq=hongos+en+suelos+tropicales&ots=yFfQwkbkZz&sig=nlfTbA4->

6n23bY5PnSWfidyGewY#v=onpage&q=hongos%20en%20suelos%20tropicales&f=false

- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2015). Infostat versión 2014. Grupo infostat fca. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Córdoba, Argentina. Obtenido de <<http://www.Infostat.Com. Ar>>acceso el, 3(06).
- EcoCiencia, Centro Fátima, Jatun Sacha, & Omaere. (1996). *Manejo de recursos en el Bosque Tropical: Lecciones aprendidas*. Quito, Ecuador, Ecuador: EcoCiencia.
- Escobar, N., Mora, J., & Romero, N. J. (2012). Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Boletín Científico Centro de Museos - Museo de Historia Natural*, 16(1), 75-88. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n1/v16n1a06.pdf>
- Espinosa-Escalante, T. (12 de 2004). ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao. *Elementos*, 10(52), 53-56. Recuperado el 5 de 8 de 2018, de <http://www.elementos.buap.mx/num52/pdf/53.pdf>
- Espinoza, E. (2018). Tesis de pregrado. *Relaciones entre las características edafológicas y las variables dasométricas de tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados por la actividad petrolera*. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.
- Falconí-Saá, C. E. (1998). *Fitopatología práctica* (Primera edición ed.). Quito, Ecuador.
- Ferrari, A., & Wall, L. (2004). Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 105(2), 63-87. Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/AppData/Local/Temp/189-416-1-PB.pdf
- Fried, G. H. (1990). *Biología* (Sexta edición ed.). (R. Elizondo Mata, Trad.) México D.F.: McGraw-Hill.

- Gamazo, C., López, I., & Díaz, R. (2005). *Manual práctico de microbiología* . Barcelona, España: MASSON S.A.
- Gómez, M., & Toro, J. (2007). Manejo de las semillas y la propagación de diez especies forestales del bosque húmedo tropical. *Boletín Técnico Biodiversidad*(2), 71.
- Gotelli, N. J., & Chao, A. (2013). Measuring and estimating species richness, species diversity , and biotic similarity from sampling data. *Encyclopedia of Biodiversity*, 5, 195-211.
- Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2011). Estimating species richness. *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment*, 12, 39-54.
- Halfpeter, G., Moreno, C., & Pineda, E. (2001). *Manual para la evaluación de la biodiversidad en Reservas de la Biosfera* (Vol. 2). Zaragoza, España: M&T-Manuales y Tesis SEA.
- Herrera-Isla, L. (2012). *Los Hongos Fitopatógenos de Suelos Tropicales y Subtropicales*. Académica Española.
- Ibañez, S., Gisbert, J., & Moreno, H. (2014). *Inceptisoles: Producción Vegetal*. Valencia, España.
- IGEOGRAFOS. (Martes de 11 de 2011). Calcular una Zona de Vida con el Sistema Holdridge. Perú. Obtenido de <http://www.ingefrafos.com.pe/2011/11/calcular-una-zona-de-vida-con-el.html>
- Instituto Geográfico Militar [IGM]. (2010). *Cartografía República del Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2015). *Datos meteorológicos de las provincias de Sucumbíos y Orellana* . Quito, Ecuador.
- International Legume Database Information Service [ILDIS]. (2014). *Catalogue of life: indexing the world's known species - Piptadenia pteroclada*. Obtenido de

<http://www.catalogueoflife.org/col/details/species/id/7f66964af461f3954a51ee670bb8a2f9>

- Islam, R. (2015). Effect of various carbon and nitrogen sources on mycelial growth of *Fusarium* spp. isolated from agricultural fields of murshidabad. *Ind. J. Sci. Res. and Tech.*, 3(1), 71-77. Obtenido de <http://www.indjsrt.com/administrator/modules/category/upload/10-INDJSRT201524.pdf>
- Izco, J., Barreno, E., Brugués, M., Costa, M., Devesa, J., Fernández, F., . . . Valdés, B. (2004). *Botánica*. Madrid, España.
- Jankowiak, R. (2006). Fungi associated with *Tomicus piniperda* in Poland and assessment of their virulence using Scots pine seedlings. *Annals of Forest Science*, 63, 801- 808. doi:10.1051/forest:2006063
- Jumpponen, A., & Trappe, J. M. (1998). Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root-colonizing fungi. *New Phytologist*, 140, 295-310. Obtenido de <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1046/j.1469-8137.1998.00265.x>
- Koneman, E. (1987). *Micología*. Buenos Aires, Argentina: Médica Panamericana.
- Ma, L.-J., Geiser, D. M., Proctor, R. H., Rooney, A. P., O'Donnell, K., Trail, F., . . . Kazan, K. (2013). *Fusarium Pathogenomics*. *Annual review of microbiology*, 67, 399-416. Obtenido de <https://www.umass.edu/comparativegenomics/Pdfs/ARM2013.pdf>
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2003). *Brock: Biología de los microorganismos* (Décima edición ed.). Madrid - España: Pearson Prentice Hall. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/0B3i4iMpIY5O1VXd4RnN1MUNiclk/view>
- Madigan, M., Martinko, J., Dunlap, P., & Clark, D. (2009). *Brock, Biología de los microorganismos*. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.

- Magurran, A., & Dornelas, M. (2010). Biological diversity in a changing world. *Philosophical Transactions B of the Royal Society*, 365(1558), 3593-3597. doi:10.1098/rstb.2010.0296.
- Mandyam, K., & Jumpponen, A. (2005). Seeking the elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi. *Studies in Mycology*, 53, 173-189. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/26453817_Seeking_the_elusive_function_of_the_root-colonising_dark_septate_endophytic_fungi_Stud_Mycol
- McAleece, N., Gage, J., Lambshead, P., & Paterson, G. (1997). *BioDiversity Professional statistics analysis software. Jointly developed by the Scottish Association for Marine Science and the Natural History Museum London.*
- Menkis, A., Allmer, J., Vasiliauskas, R., Lygis, V., Stenlid, J., & Finlay, R. (2004). Ecology and molecular characterization of dark septate fungi from roots, living stems, coarse and fine woody debris. *The British Mycological Society*, 108(8), 965-973. doi:10.1017/S095375620400066
- Mier, T., Toriello, C., & Ulloa, M. (2002). *Hongos microscópicos saprobios y parásitos.* México, D.F. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?id=UD30RosdJSEC&pg=PA5&lpg=PA5&dq=aislamiento+de+hongos+de+de+raices&source=bl&ots=XdNlfJjW9f&sig=OqOpIP87vpJmsaouizf8VmnQzBY&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi-n4GPhavXAhWBxCYKHcB2DTMQ6AEINDAG#v=onepage&q=aislamiento%20de%20hongos%](https://books.google.com.ec/books?id=UD30RosdJSEC&pg=PA5&lpg=PA5&dq=aislamiento+de+hongos+de+de+raices&source=bl&ots=XdNlfJjW9f&sig=OqOpIP87vpJmsaouizf8VmnQzBY&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi-n4GPhavXAhWBxCYKHcB2DTMQ6AEINDAG#v=onepage&q=aislamiento%20de%20hongos%20)
- Ministerio de Energía y Minas. (2001). *ACUERDO No. 091 - LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES A LA ATMÓSFERA PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS PARA ACTIVIDADES HIDROCARBURÍFERA.* Ecuador.

- Recuperado el 28 de 7 de 2018, de
file:///C:/Users/USUARIO/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8weky
b3d8bbwe/TempState/Downloads/130309-060633equ.en.acu.91%20(1).pdf
- Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador [MAE]. (2015). *Quinto informe nacional para el convenio sobre diversidad biológica*. Quito, Ecuador.
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la diversidad*. Zaragoza, España: GORFI, S.A.
- Morongas, F. (4 de noviembre de 2008). *Suelo amazónico (blog)*. Obtenido de <http://flor-amazonas.blogspot.com/2008/04/suelo-amaznico.html>
- Nabors, M. (2006). *Introducción a la botánica*. Madrid, España: PEARSON EDUCACIÓN S.A.
- Naturalista. (2016). *Plantas: Zygia longifolia*. Obtenido de <http://www.naturalista.mx/taxa/504126-Zygia-longifolia>
- Neiendam-Nielsen, M., & Winding, A. (2002). *Microorganisms as Indicators of Soil Health* (Technical Report No. 388 ed.). Dinamarca. Recuperado el 15 de 6 de 2018, de
- Núñez-Colín, C. A., & Escobedo-López, D. (2011). Uso correcto del análisis clúster en la caracterización del germoplasma vegetal. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 415 - 427. Recuperado el 31 de 7 de 2018, de http://www.mag.go.cr/rev_meso/v22n2_415.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2017). *El suelo*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s04.htm>
- Palacios, W. (2011). *Árboles del Ecuador*. Quito, Ecuador: Ministerio del Ambiente.
- Piepenbring, M., López, F., & Cáceres, O. (2016). Colaboradores escondidos - La importancia de los Hongos en los Ecosistemas: Información para Educación Ambiental. *Puente Biológico*, 8, 57-91.

- Pozo-Rivera, W. E. (2017). Tesis de doctorado. *Relaciones de la diversidad arbórea y la estructura del paisaje agrícola tropical ecuatoriano con la biodiversidad de murciélagos filostómidos*. La Habana, Cuba.
- Prescott, L., Harley, J., & Klein, D. (2002). *Microbiología*. Madrid, España.
- Prieto, O., Belezaca, C., Mora, W., Garcés, F., Sabando, F., & Cedeño, P. (2012). Identificación de hongos micorrícicos arbusculares en sistemas agroforestales con cacao en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Agronomía Mesoamericana*, 23(2), 233-239.
- Rosenblueth, M., Martínez, J., & Martínez, E. (2001). Ecología química en la rizósfera y en la simbiosis de plantas. En A. Anaya, F. Espinosa, & R. Cruz, *Relaciones químicas entre microorganismos: Aspectos básicos y perspectivas de su aplicación* (págs. 99-102). México D.F., México. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=8Gt7CoKx3W4C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Schenck, S. (2004). Control of nematodes in tomato with *Paecilomyces lilacinus* Strain 251. *Hawaii Agriculture Research Center: Vegetable report*, 1-5. Obtenido de <http://www.harc-hspa.com/uploads/2/6/1/7/26170270/veg5.pdf>
- Sierra, R. (1999). *Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental*. Quito, Ecuador: Proyecto INEFAN/GEFBIRF y Eco ciencia.
- Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia [SIB]. (2009). *Catálogo de la Biodiversidad de Colombia: Platymiscium pinnatum*. Obtenido de <http://catalogo.biodiversidad.co/fichas/2235>
- Somerfield, P. J. (2008). identification of the Bray-Curtis similarity index: comment on Yoshioka. *Marine Ecology Progress Series*, 372, 303-306.
- Tотора, G., Funke, B., & Case, C. (2007). *Introducción a la microbiología*. Madrid, España.

- Ulcuango, K. (2014). Tesis de pregrado. *Estudio de las variables de crecimiento de 20 especies forestales y las características edafológicas de plataformas y celdas de lodos y ripios de la EP Petroecuador*. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN]. (2015). *Especies para restauración: Platymiscium pinnatum y Zygia longifolia*. Obtenido de <http://www.especiesrestauracion-uicn.org/especies.php>
- Uribe-Hernández, R., Juárez-Méndez, C., Montes de Oca, M., Palacios-Vargas, J., Cutz-Pool, L., & Mejía-Recarmier, B. (2010). Colémbolos (Hexapoda) como bioindicadores de calidad de suelos contaminados con hidrocarburos en el sureste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(1), 153-162. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532010000100020
- Villacís, J., Armas, C., Hang, S., & Casanoves, F. (2016). Selection of adequate species for degraded areas by oil exploitation industry as a key factor for recovery forest in the Ecuadorian Amazon. *Land Degradation and Development*, 27, 1771-1780.
- Villacís, J., Casanoves, F., Hang, S., Keesstra, S., & Armas, C. (2016). Selection of forest species for the rehabilitation of disturbed soils in oil fields in the Ecuadorian Amazon. *Science of the Total Environment*, 566-567: 761-770.
- Villanueva Arce, R., Aguilar Pompa, C. A., Gómez Gómez, Y. d., Valencia del Toro, G., Piña Guzmán, A. B., & Bautista Baños, S. (2013). Control de Bacterias patógenas y hongos de poscosecha con extractos del pigmento de Gibberella zeae (Fusarium graminearum). *Agrociencia*, 47(7), 691-705. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/302/30228899006.pdf>

- Willey, J. M., Sherwood, L. M., & Woolverton, C. J. (2009). *Microbiología de Prescott, Harley y Klein* (Séptima ed.). Madrid, España, España: EDITEC.
- Yoshioka, P. M. (2008). Misidentification of the Bray-Curtis similarity index. *Marine Ecology Progress Series*, 368, 309-310.
- Yu, T., Nassuth, A., & Peterson, R. L. (2001). Characterization of the interaction between the dark septate fungus *Phialocephala fortinii* and *Asparagus officinalis* roots. *Canadian Journal of Microbiology*, 47(8), 741-753. doi:<https://doi.org/10.1139/w01-065>