



Complejidad y diversidad de nematodos rizosféricos en tres especies arbóreas plantadas sobre suelos perturbados inoculados con tierra de bosque natural

Pinto Urbina, Ricardo Andrés

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

Dr. Pozo Rivera, Wilmer Edison Ph. D.

7 de abril del 2021



Análisis de resultados Urkund

Analysed Document: Revisión Urkund Tesis Ricardo Pinto.docx
 (D101765282) Submitted: 4/15/2021 10:16:00 PM
 Submitted By: wepozo@espe.edu.ec
 Significance: 8 %
 Sources included in the report:

Perfil Anteproyecto Bastidas Anahí.docx
 (D77813404) Tesis Xavier Paredes Urkund
 (1).docx (D60719585)
 TESIS DIVERSIDAD DE HONGOS - SOSA VALERIA - 09-08-2018.pdf
 (D40778087) PROYECTO DE TITULACIÓN LUISA 2020.docx (D63804805)
 TESIS 12.07.19.docx (D54407976)
 PROYECTO FINAL BOSQUES.pdf (D40595273)
 EFECTO DE LA ACTIVIDAD ANTROPICA SOBRE LA COMPOSICIÓN FLORISTICA Y ESTRUCTURA DE LA ZONA
 DE PROTECCIÓN PERMANENTE DE LA CUENCA DEL RÍO PASURCO_URKUND.pdf (D63490312)
 1601850515_Tesis William Rosas FCV primer borrador-EC20200925_PP.docx (D80682194)
<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15249/1/13101656.pdf> https://www.researchgate.net/publication/319340345_Comunidades_de_nematodos_de_vida_libre_del_suelo_y_su_correspondencia_con_la_calidad
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7515/1/T-ESPE-047405.pdf>
<http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
https://www.researchgate.net/publication/304346666_Metodos_para_medir_la_biodiversidad
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22387/1/Erika%20Tatiana%20G%C3%B3mez%20Guayllas.pdf>
<http://geografafisica.org/r/br/IndicesBiodiversidad.pptx>

Instances where selected sources appear:

38



Wilmer E.
 Pozo Rivera

Dr. Pozo Rivera, Wilmer Edison, Ph. D.

C.C: 1802191351



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Complejidad y diversidad de nematodos rizosféricos en tres especies arbóreas plantadas sobre suelos perturbados inoculados con tierra de bosque natural”** fue realizado por el señor **Pinto Urbina, Ricardo Andrés**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 7 de abril del 2021



**Wilmer E.
Pozo Rivera**

Dr. Pozo Rivera, Wilmer Edison, Ph. D.

C.C: 1802191351



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Pinto Urbina, Ricardo Andrés**, con cédula de ciudadanía n °1721097333, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Complejidad y diversidad de nematodos rizosféricos en tres especies arbóreas plantadas sobre suelos perturbados inoculados con tierra de bosque natural** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 7 de abril del 2021

Pinto Urbina, Ricardo Andrés

C.C: 1721097333



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Pinto Urbina, Ricardo Andrés**, con cédula de ciudadanía n °1721097333, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Completitud y diversidad de nematodos rizosféricos en tres especies arbóreas plantadas sobre suelos perturbados inoculados con tierra de bosque natural** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 7 de abril del 2021

Pinto Urbina, Ricardo Andrés

C.C: 1721097333

Dedicatoria

A Dios por darme la salud y fuerza para culminar mi carrera universitaria y por guiarme en el camino correcto.

A mi madre Albi, abuelita Mamita Zoilita que más que abuelita es una madre, en especial también agradezco con todo mi corazón a mi abuelito Papito Pepe que era un padre para mí, a pesar que hace más de dos años dejo esta tierra, me guio desde pequeño educándome en valores y formándome para afrontar los retos que da la vida.

Ricardo Pinto.

Agradecimiento

Al Dr. Wilmer E. Pozo-Rivera, Director de tesis, por brindarme sus conocimientos, amistad, consejos y apoyo en el transcurso del proyecto.

Al Dr. Jaime Villacís, por aceptarme y ser parte de este lindo proyecto que lleva tiempo ejecutándose, por brindarme su apoyo en la parte estadística y confianza para poder realizar la fase de laboratorio en su lugar de trabajo.

Al Dr. Carlos Chiriboga, que me apoyo con todos los instrumentos de laboratorio esenciales para la ejecución de este trabajo.

Al Lic. Marco Taco por su colaboración en cómo realizar la extracción e identificación de nematodos.

A todos los Docentes del IASA por brindarme a lo largo de la carrera todo el conocimiento para poder ejercer esta linda carrera en la vida profesional.

A mi Mami, Abuelita y Abuelito que en paz descanse, por siempre apoyarme y tener paciencia para terminar la Carrera.

A mis amigos por compartir momentos inolvidables en clases, internados haciendo que el paso por la Universidad sea grandioso.

Índice de contenido

Carátula.....	1
Análisis de Resultados Urkund	2
Certificación	3
Autoría de responsabilidad	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Índice de contenido	8
Índice de tablas.....	11
Índice de figuras.....	12
Resumen	13
Abstract.....	14
Capítulo I	15
Introducción	15
Objetivos	17
<i>General</i>	17
<i>Específicos</i>	17
Hipótesis	17
<i>Hipótesis nula (H₀):</i>	17
<i>Hipótesis alterna (H₁):</i>	17
Capítulo II	18
Revisión bibliográfica	18
Generalidades.....	18

Contaminación y remediación petrolera en la Amazonía ecuatoriana	18
Suelos remediados y estudios en la Amazonía Ecuatoriana	19
Indicadores biológicos.....	20
Nematodos como bioindicadores	21
Compleitud.....	22
Diversidad biológica.....	23
Riqueza y estructura en la comunidad	23
Rizósfera.....	23
Inoculación del suelo	24
Características de las especies arbóreas seleccionadas	24
Capítulo III	26
Metodología.....	26
Ubicación política y geográfica	26
Condiciones ambientales	27
Selección de sitios de muestreo.....	27
Selección de especies arbóreas.....	28
Inoculación de parcelas y obtención de muestras de suelo	28
Extracción e identificación de nematodos	29
Variables medidas.....	30
<i>Abundancia (N)</i>	30
<i>Riqueza (S)</i>	30
<i>Similitud</i>	30
<i>Compleitud</i>	31
<i>Eficacia del inventario</i>	31

<i>Estructura</i>	33
Diseño experimental	34
Análisis estadístico.....	36
Capítulo IV.....	37
Resultados.....	37
Composición de especies de nematodos rizosféricos.....	37
Abundancia	39
Riqueza.....	42
Diversidad y Equitatividad.....	43
Similitud y Completitud.....	43
Análisis de diversidad entre especies arbóreas y sitios perturbados y no perturbados	48
Capítulo V.....	50
Discusión	50
Composición de nematodos rizosféricos	50
Abundancia	51
Riqueza.....	53
Diversidad y Equitatividad.....	54
Similitud y Completitud.....	55
Capítulo VI.....	56
Conclusiones y Recomendaciones.....	56
Conclusiones.....	56
Recomendaciones.....	56
Bibliografía	58

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Coordenadas referenciales de los campos de explotación estudiados</i>	27
Tabla 2	<i>Parcelas de muestreo y tipo de sitio</i>	28
Tabla 3	<i>Composición, abundancia específica y proporcional de especies de nematodos rizosféricos en sitios perturbados y no perturbados e inoculados colectados en tres especies arbóreas y claro en el periodo noviembre 2019 a febrero 2020</i>	38
Tabla 4	<i>Composición de especies de nematodos rizosféricos por sitio perturbado y no perturbado</i>	39
Tabla 5	<i>Composición de nematodos rizosféricos por especies arbóreas y claros</i>	40
Tabla 6	<i>Composición de nematodos rizosféricos en parcelas pequeñas inoculadas y no inoculadas</i>	41
Tabla 7	<i>Porcentaje de estimación de riqueza obtenida en relación con la riqueza esperada mediante estimadores no paramétricos en el tiempo</i>	43
Tabla 8	<i>Comparación de valores de similitud y complementariedad de las especies de nematodos rizosféricos entre sitios perturbados y no perturbados</i>	44
Tabla 9	<i>Comparación de valores de similitud y complementariedad de las especies de nematodos rizosféricos entre subparcelas inoculadas y no inoculadas</i>	45
Tabla 10	<i>Valores de completitud y similitud de especies de nematodos rizosféricos entre sitios inoculados y no inoculados de la perturbación del suelo en las especies arbóreas y claros</i>	46
Tabla 11	<i>Promedio \pm error estándar de la abundancia de nematodos presentes en la interacción perturbación por especie arbórea</i>	48
Tabla 12	<i>Promedio \pm error estándar de la riqueza y estructura de la comunidad de nematodos según las tres especies arbóreas y claro</i>	49

Índice de figuras

Figura 1 <i>Localización de los ocho campos de muestreo en las provincias de sucumbíos y orellana</i>	26
Figura 2 <i>Esquema representativo de un punto de colección de las submuestras de suelo alrededor de las especies arbóreas</i>	29
Figura 3 <i>Croquis experimental de la investigación</i>	35

Resumen

Las actividades petroleras en la selva amazónica del Ecuador, han alterado de manera considerable el suelo de las zonas circundantes a dicha actividad extractivista, perturbando los ecosistemas naturales y su biodiversidad. Con la finalidad de mitigar los efectos de la extracción petrolera, se ha llevado a cabo un “Programa de reforestación con especies arbóreas nativas de la Amazonia ecuatoriana”; como parte del programa se han realizado estudios previos sobre diversidad de escarabajos y hongos rizosféricos para determinar la salud del suelo en sitios bioremediados. En el presente estudio se evaluó la completitud y diversidad de la comunidad de nematodos rizosféricos presentes en suelos perturbados remediados con inóculo de tierra del bosque natural. Se muestreó las rizósferas de *Piptadenia pteroclada*, *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* y suelos de claros. Se extrajeron e identificaron los nematodos a mediante claves dicotómicas. Se obtuvieron índices de abundancia, riqueza, diversidad, similitud y completitud de nematodos. Los análisis se realizaron con ADEVA con modelos mixtos. Se registraron 1 800 individuos de nematodos rizosféricos pertenecientes a 18 géneros de 11 familias de las clases Adenophorea y Secernentea. La rizósfera de las tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados se encontró la mayor abundancia y riqueza de nematodos, en cambio la diversidad, similitud y completitud mostraron valores idénticos en suelos no perturbados como perturbados. La inoculación no mostró ningún efecto sobre la comunidad nematológica en las tres especies arbóreas.

Palabras clave: *Amazonia del Ecuador, especies arbóreas, rizósfera, inóculo, comunidad nematológica*

Abstract

Oil activities in the Ecuadorian Amazon rainforest have considerably altered the soil in the areas surrounding this extractive activity, disturbing the natural ecosystems and their biodiversity. In order to mitigate the effects of oil extraction, a "Reforestation program with native tree species of the Ecuadorian Amazon" has been carried out; as part of the program, previous studies on beetle diversity and rhizospheric fungi have been conducted to determine soil health in bioremediated sites. The present study evaluated the completeness and diversity of the rhizospheric nematode community present in disturbed soils remediated with soil inoculum from natural forest. Rhizospheres of *Piptadenia pteroclada*, *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* and clear-cut soils were sampled. Nematodes were extracted and identified using dichotomous keys. Nematode abundance, richness, diversity, similarity and completeness indices were obtained. Analyses were performed with ADEVA with mixed models. A total of 1,800 individuals of rhizospheric nematodes belonging to 18 genera of 11 families of the classes Adenophorea and Secernentea were recorded. The rhizosphere of the three tree species planted in disturbed soils showed the highest abundance and richness of nematodes, while diversity, similarity and completeness showed identical values in undisturbed and disturbed soils. Inoculation showed no effect on the nematode community in the three tree species.

Key words: *Ecuadorian Amazon, tree species, rhizosphere, inoculum, y nematological community*

Capítulo I

Introducción

La extracción de recursos naturales altera a los ecosistemas, este impacto afecta a los organismos que habitan en ellos, sin embargo, existen algunos seres vivos que suelen habituarse a las condiciones adversas producto de dicha extracción (Pozo-Rivera, com. pers.). La empresa petrolera pública Petroamazonas EP (Petroamazonas EP) desarrolla el Proyecto Amazonía Viva (PAV), que se encarga de la remediación ambiental de suelos afectados por la extracción petrolera, mediante programas de reforestación de sitios afectados (Petroamazonas, 2015).

En este sentido la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE y PAV elaboran un convenio mediante el cual se ejecuta un programa de investigación en el que se han implementado parcelas experimentales plantadas con especies forestales nativas (Villacís et al., 2016). Hasta el momento, como parte del mencionado Programa de Investigación, se ha evaluado la restauración de los componentes bióticos asociados a las plantas tales como hongos (Quinsasamín, 2019) y escarabajos (Paredes, 2019; Quiloango, 2019). Como resultado de estas investigaciones se han reconocido 35 especies de hongos ectorizosféricos (Quinsasamín, 2019), 31 especies de hongos endorizosféricos (Sosa, 2018) y 32 especies de escarabajos (Paredes, 2019; Quiloango, 2019) considerados los indicadores biológicos que aparecen inicialmente en procesos de restauración ecológica. Sin embargo, es necesario evaluar otro tipo de bioindicadores como son los nematodos, que permitan valorar más ampliamente el efecto de las especies forestales sobre la calidad biótica de los sitios afectados, ya que junto a las lombrices aportan con materia orgánica a los suelos (Elliot, 1997).

Durante los últimos años se han incrementado estudios sobre la presencia de nematodos en ecosistemas afectados por actividades antrópicas (Porrás, 2006; Shao et al., 2012; Vera, 2017). Los nematodos han sido estudiados para medir el impacto de perturbaciones en el suelo, como para monitorear cambios en la estructura y el funcionamiento de ecosistemas del subsuelo (Melo, 2011).

La completitud mide la riqueza observada frente a la esperada, midiendo la proporción que representan los individuos de cada especie en la muestra, con respecto al número total de individuos (López-Mejía et al., 2017). La interpretación de la estructura de las comunidades de nematodos permite evaluar las condiciones de suelo con relación al impacto de contaminantes y otros componentes que permiten el monitoreo de cambios en la estructura y la funcionalidad del suelo (Bongers & Ferris, 1999).

En el presente estudio se propone evaluar la abundancia y riqueza de nematodos presentes en la rizósfera de *Piptadenia pteroclada*, *Platymiscium pinnatum* y *Zygia longifolia*, plantadas sobre suelos afectados por las actividades de extracción de petróleo y que han sido inoculados con suelo proveniente del bosque natural. La información generada en este estudio permitirá valorar los métodos de restauración forestal implementados sobre este tipo de suelos afectados.

Objetivos

General

Evaluar el efecto de la inoculación microbiana edáfica sobre la completitud y estructura de la comunidad de los nematodos presentes en suelos afectados por las actividades de extracción de petróleo en la amazonía ecuatoriana e inoculados con suelo proveniente del bosque natural.

Específicos

Confrontar la abundancia, riqueza, diversidad, similitud y completitud de nematodos presentes en la rizósfera de tres especies arbóreas plantadas sobre suelos perturbados y no perturbados.

Valorar el efecto de la inoculación microbiana sobre la abundancia, riqueza, diversidad, similitud y completitud de nematodos en la rizósfera de tres especies arbóreas plantadas sobre suelos perturbados y no perturbados.

Hipótesis

Hipótesis nula (H_0):

La completitud y estructura de la comunidad de nematodos no difiere con las especies arbóreas y con el tipo de perturbación e inoculación del suelo.

Hipótesis alterna (H_1):

La completitud y estructura de la comunidad de nematodos difiere con las especies arbóreas y con el tipo de perturbación e inoculación del suelo.

Capítulo II

Revisión bibliográfica

Generalidades

La Amazonía ecuatoriana equivale únicamente el 3 % de toda la superficie de la cuenca amazónica, pero a nivel nacional representa el 50 % de la superficie del país (Fontaine et al., 2008), localizada en la subregión andino-amazónica de la macrocuenca, comprende un área de transición entre los Andes y la Cordillera Real Oriental, definiendo ecosistemas de piedemonte, selva alta, así como su vasta llanura amazónica y bosques de inundación (López et al., 2013), las condiciones regionales de clima, relieve y suelos permiten que esta área sea una de las más biodiversas del planeta y con una gran cantidad de recursos no renovables (Arias et al., 2012; Franco & Álvarez, 2019), por tal motivo la extracción petrolera en la amazonía ha generado importantes impactos directos sobre el ambiente, estos son: la deforestación de bosques primarios debido a caminos de acceso, construcción de plataformas de perforación y tuberías, contaminación por derrames de crudo, lodo contaminado con remanentes de petróleo en piscinas y descargas de aguas residuales, provocando una fuerte perturbación en la flora y fauna de la región (Finer et al., 2008; Vogliano, 2009).

Contaminación y remediación petrolera en la Amazonía ecuatoriana

La principal fuente económica del Ecuador de los últimos 50 años es la extracción de petróleo proveniente principalmente de la selva amazónica, convirtiendo al país en el cuarto productor de hidrocarburos en América Latina (Becerra et al., 2013), aproximadamente hasta el 2019 se han producido 525.000 barriles de petróleo por día entre compañías públicas y privadas (Banco Central Ecuador, 2019). Esto ha provocado que, desde el inicio el desarrollo incontrolado

de la extracción petrolera genere contaminación y degradación crónica de la biodiversidad en la región amazónica, con fuertes impactos ambientales, sociales, económicos y sanitarios (Becerra et al., 2013; Juteau-Martineau et al., 2014). Por tal razón, cuando la contaminación de la Amazonía se convirtió en fuente de demandas y denuncias públicas a nivel nacional e internacional, fue necesario desde la década de los 90 la implementación de técnicas de remediación para mitigar de alguna manera la contaminación causada por las actividades petroleras, también viéndola como una oportunidad novedosa en el ámbito petrolero, obteniendo beneficios y de paso “enverdecendo” la imagen de la industria (Cuvi & Bejarano, 2015). Con estos antecedentes, Petroamazonas EP mediante el PAV ejecuta acciones propias de limpieza y remediación de áreas afectadas por la operación hidrocarburífera en la Amazonía Ecuatoriana, las actividades de remediación de suelos contaminados se lo realizan mediante dos técnicas (Petroamazonas EP, 2018). El primer método consiste en lavar el suelo, usando líquidos generalmente agua combinada a veces con aditivos químicos y un procedimiento mecánico para depurar el suelo, buscando lograr el desprendimiento y consecuentemente la recuperación del crudo, el segundo método consiste en extraer el suelo contaminado, trasladando hacia los Centros de Gestión de Pasivos, para su recepción y tratamiento de estos suelos mediante técnicas biológicas, como la aplicación de microorganismos que ayudan a la biorremediación de suelos contaminados (Cuvi & Bejarano, 2015; Petroamazonas EP, 2018; Riesco, 2012).

Suelos remediados y estudios en la Amazonía Ecuatoriana

Petroamazonas EP con el concepto de retribución a la naturaleza y que las comunidades vivan en un ambiente sano, ha eliminado 830 fuentes de contaminación y remediado 1 200 098 m³ de suelo contaminado (Petroamazonas EP, 2018). El PAV en convenio con la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, han desarrollado varios proyectos enfocados en brindar soluciones

ambientales de suelos afectados por la extracción petrolera, como parte del programa “Efectos de la restauración forestal sobre las características de los suelos, la biodiversidad y la generación de servicios ecosistémicos en las áreas afectadas por los procesos de extracción de petróleo de la Amazonía del Ecuador”, se han identificado 8 especies forestales que favorecen de manera significativa la recuperación de suelos degradados por la extracción petrolera, permitiendo implementar estrategias de reforestación en áreas recuperadas por el PAV (Petroamazonas EP, 2018; Villacís et al., 2016), además se ha investigado sobre la diversidad de ensamblajes de Scarabaeinae en áreas remediadas en suelos agrícolas y ecosistemas sensibles a procesos de extracción petrolera en la Amazonía ecuatoriana, proyecto ejecutado en dos épocas (lluviosa y seca) que consistió en evaluar la recuperación del suelo y su ambiente afectados por la contaminación ambiental en la Amazonía, mediante el estudio de indicadores bióticos en este caso los escarabajos peleteros, se han logrado identificar 32 especies de escarabajos (Paredes, 2019; Petroamazonas EP, 2018; Quiloango, 2019), así mismo se han realizado estudios de diversidad de hongos presentes en raíces y en la rizósfera de tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados por la extracción petrolera, los hongos considerados como otro bioindicador de un buen estado de salud del suelo, se han registrado 35 especies de hongos ectorizosféricos y 31 especies de hongos endorizosféricos (Quinsasamín, 2019; Sosa, 2018).

Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos son organismos o comunidades, ya sean animales, vegetales o microorganismos que, a través de su presencia, indican el nivel de preservación, estado o salud de un ecosistema, es decir que son sensibles a las alteraciones de los factores físicos y químicos del ambiente donde viven (Morales, 2011). Los bioindicadores han sido utilizados para evaluar la magnitud de la perturbación producida por el ser humano, para monitorear

tendencias poblacionales en especies, e identificar y localizar áreas de alta biodiversidad (Morales, 2011). Los organismos biológicos utilizados como indicadores del estado de salud de un ecosistema son: bacterias, hongos, lombrices, nematodos, colémbolos, escarabajos, mariposas, aves y murciélagos (Pozo, com. pers.), debido a que son sensibles a los cambios de su entorno, fáciles y relativamente simples de identificar, su ecología y ciclo biológico son bien estudiados, y con poca movilidad (Kennedy & Papendick, 1995).

Nematodos como bioindicadores

El phylum Nematoda, es una de las categorías taxonómicas más diversas del Reino Animal, viven en casi todos los hábitats terrestres y acuáticos, tanto así que uno de cada cinco organismos multicelulares del planeta es nematodo (Shao et al., 2012; Smythe et al., 2019). De acuerdo a sus fuentes y hábitos alimenticios, son clasificados en diferentes gremios tróficos tales como: bacteriófagos, fungívoros, omnívoros, depredadores y fitoparásitos (George, 2006). Los nematodos son gusanos cilíndricos no segmentados que poseen un sistema excretor, nervioso, digestivo, reproductivo y muscular, dispone de un ciclo de vida simple que consta de: huevo, cuatro estados juveniles, separados por mudas y, adulto. Para llegar a su etapa adulta el tiempo varía entre pocos días en los nematodos libres, hasta más de un año en algunos parásitos (Melo, 2011).

Bongers & Ferris (1999) consideran a los nematodos como los organismos más apropiados para realizar estudios ambientales a nivel de suelo debido a que: a) ocurre en gran diversidad en distintos suelos, b) viven en la capilaridad del agua presente en el suelo, c) reaccionan rápidamente a las alteraciones del medio, d) se aíslan e identifican relativamente fácil, e) juegan un papel importante en la red alimenticia, f) ocupan una variedad de gremios tróficos, g) son los metazoarios con gran riqueza de especies y alta abundancia y, h) están

directamente en contacto con componentes disueltos en el agua debido a su cutícula permeable.

Compleitud

El índice de completitud también llamada complementariedad o disimilitud, es una métrica desarrollada recientemente que permite evaluar la integridad del inventario y estandarizar las comparaciones directas entre diferentes comunidades ecológicas (Noreika et al., 2020), mediante el uso de modelos de acumulación de especies ajustados a las curvas de acumulación de especies registradas, en las que el número acumulado de especies se representa frente a una medida de esfuerzo de muestreo (cantidad de individuos observados, cantidad de muestra). Estos modelos de acumulación permiten medir de manera eficaz e integra el inventario de especies separados por comunidades, además facilitan comparaciones válidas entre estudios basados en una medida estandarizada de esfuerzo de muestreo (Moreno & Halffter, 2000).

Pärtel et al. (2013) describen que la completitud integra la proporción de la reserva de especies específicas del hábitat presentes en el sitio, es decir, examina la diversidad local que es matemáticamente independiente del tamaño de especies presentes, por tal motivo la completitud evalúa el éxito de la restauración de una comunidad biológica que contenga el mayor tamaño posible de especies específicas del hábitat.

La medición de la complementariedad va desde cero, cuando ambos sitios son iguales en composición de especies, hasta uno, cuando ambos sitios son total mente distintos (Colwell & Coddington, 1994).

Diversidad biológica

La biodiversidad o diversidad biológica se define como la variabilidad entre organismos vivientes sean terrestres y acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte; por lo tanto el término comprende diferentes escalas biológicas: a) la variabilidad en el contenido genético de los individuos y las poblaciones, b) el conjunto de especies que integran grupos funcionales, y c) el conjunto de comunidades completas o paisaje (Moreno & Halffter, 2000). Los métodos para evaluar la diversidad se basan en la cuantificación del número de especies presentes (riqueza específica) y en métodos apoyados en la estructura de la comunidad (diversidad y equitatividad) (Moreno, 2001).

Riqueza y estructura en la comunidad

La riqueza mide el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas, una de las herramientas útiles para su análisis es la función de acumulación de especies (López-Mejía et al., 2017).

La medición de la estructura de las comunidades se realiza en términos de diversidad de cada especie (abundancia proporcional) y desde el punto de vista de la equitatividad (valor de importancia de cada especie) (Moreno, 2001).

Rizósfera

La rizósfera es una zona del suelo cercana a la raíz de la planta en el que existe actividad microbiana influenciada en general por la disponibilidad de nutrientes que genera la planta, dividida en dos regiones: endorizósfera (tejido de la raíz), parte la raíz interna (elementos conductores: xilema y floema, epidermis, corteza, endodermis y capa de raíz) y ectorizósfera, toda la zona externa inmediata a la raíz (mucílago vegetal y bacteriano, pelos radiculares, mucílago radicular y células de casquete radicular desprendidas), donde hay relación entre

bacterias, hongos, algas, protozoos, nematodos, insectos y ácaros (Lipiec & Glinski, 2011; Radwan et al., 1998).

Pant & Pant (2017) describen a la rizósfera como el volumen de suelo en contacto directo con las raíces de las plantas o zona de influencia de las raíces de las plantas asociada con la actividad microbiana, considerada desde los tres a ocho centímetros desde la capa superior del suelo.

Inoculación del suelo

Las actividades antrópicas en ecosistemas naturales hacen que se altere la biodiversidad, por lo que son necesarios métodos de restauración uno de ellos es la aplicación de suelo natural, se presumen que al ser suelos inalterados, sus propiedades bióticas como abióticas son ideales para albergar una alta comunidad microbiana esenciales para el desarrollo tanto de la biota del suelo como la planta, mejorando de esta manera la salud del suelo donde se aplicó el inóculo (Huberty et al., 2019; Jasper et al., 2016; Ma et al., 2018).

Características de las especies arbóreas seleccionadas

Las especies arbóreas, de donde se obtuvieron los nematodos pertenecen al phylum Magnoliophyta, clase Magnoliopsida, orden Fabales y familia Fabaceae (Quinsasamín, 2019).

La Caoba (*Platymiscium pinnatum*), se encuentra distribuida desde América Central hasta Sudamérica (Colombia, Venezuela y Ecuador) (UICN, 2015), tolera suelos infértiles, crece tanto en climas secos como húmedos, ubicados desde el nivel del mar hasta los 1 000 m snm, con precipitaciones entre 1 000 y 3 000 mm anuales, temperatura media anual de 22 a 26 °C (Gómez & Toro, 2007), este árbol alcanza los 30 m de altura y 90 cm de DAP. Estudios de esta especie en la Amazonía ecuatoriana, indican que después de cinco años de ser plantadas sobre

suelos perturbados por la actividad petrolera, el árbol alcanzo 4,43 m de altura y 7,11 cm de DAP (Espinoza, 2018).

El Guarángo espinudo (*Piptadenia pteroclada*), es un árbol originario de Suramérica (Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú), especie tolerante a suelos secos (Villacís, 2016), crecimiento rápido siendo utilizada para producción forestal, este árbol alcanza los 25 m de altura y 60 cm de DAP (Sosa, 2018). Espinoza (2018) reporta un crecimiento de 3.01 m de altura y 4,34 cm de DAP luego de cinco años de ser plantada en suelos remediados en la Amazonía ecuatoriana.

El Chíparo (*Zygia longifolia*), se distribuye desde el sureste de México hacia Sudamérica (Colombia hasta Bolivia) (Villacís, 2016), en el Ecuador se encuentra en la Costa y Amazonía, en bosques de tierras bajas hasta los 1 000 m snm, tiene la capacidad de crecer en sitios arenosos y rocosos, por lo que es una especie recomendable para programas de restauración de suelos (Cerón & Muñoz, 2015). Estos árboles a los cinco años de ser plantadas en suelos remediados en la Amazonía ecuatoriana, presentaron una altura de 4,24 m y 10,78 de DAP (Espinoza, 2018).

Capítulo III

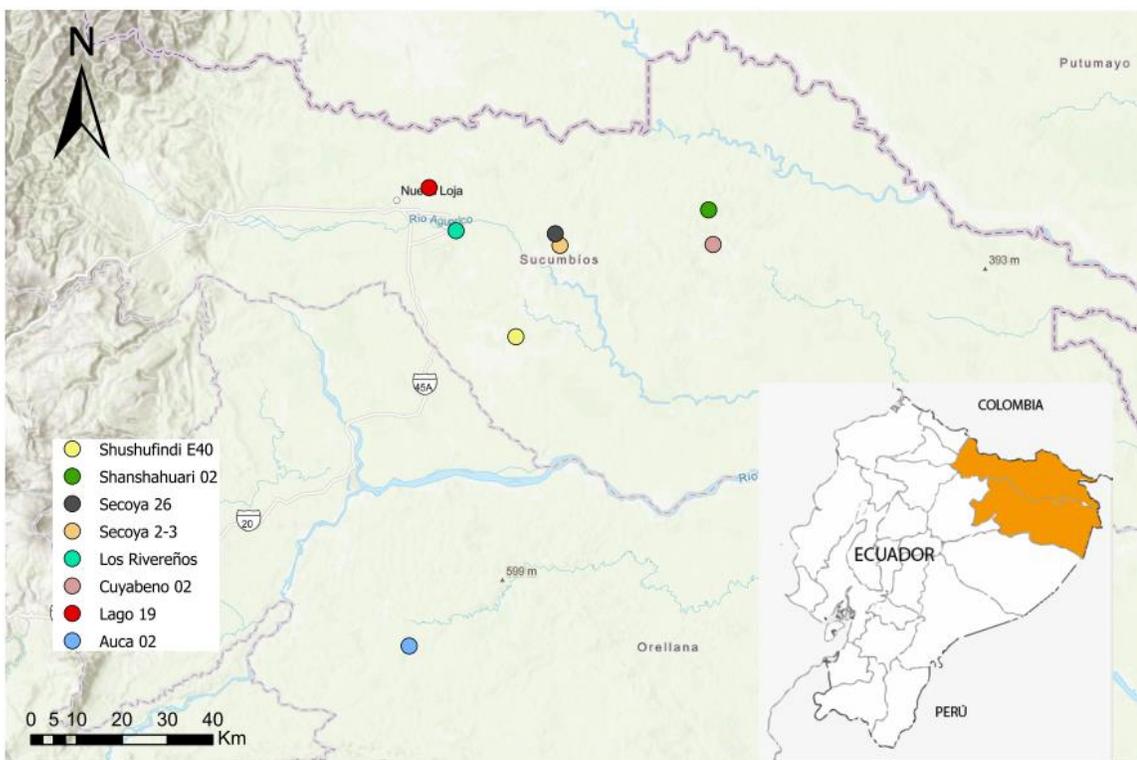
Metodología

Ubicación política y geográfica

La fase de campo de la presente investigación se realizó en las provincias de Orellana y de Sucumbíos, dentro de los campos de explotación de Petroamazonas EP. La fase de extracción e identificación de nematodos se ejecutó en los Laboratorios de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, del Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, campus Hacienda “El Prado”.

Figura 1

Localización de los ocho campos de muestreo en las provincias de Sucumbíos y Orellana



Los distintos campos de muestreo con su respectiva ubicación espacial (coordenadas georreferenciadas), se las presentan en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

Coordenadas referenciales de los campos de explotación estudiados

Campos	Coordenadas Georreferenciadas UTM WG S84 18S	
	Este	Norte
Auca 02_D	290191	9913436
CGP Lago 19	294572	1014133
Cuyabeno 02	357023	1001631
Los Rivereños	300491	1004661
Secoya 2-3	323353	1001430
Secoya 26	322323	1003990
Shanshuari 02	356042	1009231
Shushufindi E40	313661	9981360

Condiciones ambientales

Los campos de estudio de las provincias de Orellana y Sucumbíos, se encuentran a una altitud entre los 200 a 300 m snm, con una temperatura media mensual de 24 a 25 °C, una precipitación anual de 3 100 a 3 450 mm y una humedad relativa que bordea el 80 % (INAMHI, 2016; INIAP, 2017). Los bosques húmedo tropical de las tierras bajas de la provincia de Orellana y sucumbíos pertenecen al piso zoogeográfico tropical Oriental (Borja et al., 2017; Holdridge, 1982).

Selección de sitios de muestreo

La investigación se desarrolló en dos tipos de sitios: perturbados y no perturbados. Los sitios perturbados corresponden a suelos afectados por las actividades inherentes al proceso de extracción de petróleo (plataformas petroleras, celdas de lodos y ripios y suelos contaminados) y los sitios no perturbados son los suelos no afectados por procesos de extracción petrolera

(potreros). Se dispuso de 6 parcelas implementadas sobre suelos perturbados y 2 parcelas sobre suelos no perturbados (Tabla 2).

Tabla 2

Parcelas de muestreo y tipo de sitio

Nombre de los Sitios de Muestreo	Tipo de Sitio
Auca 02_D CGP Lago 19 Cuyabeno 20 Shanshuari 02 Shushufindi Estación _40 Secoya 26	Perturbado
Secoya 2-3 Rivereños	No perturbado

Selección de especies arbóreas

En cada parcela donde se desarrolló el estudio, se encuentran 5 árboles de 20 especies forestales: de las que *Platymiscium pinnatum*, *Piptadenia pteroclada* y *Zygia longifolia* presentaron mejor desempeño durante los siete primeros años luego de su plantación, las cuales han sido seleccionadas para el presente estudio (Espinoza, 2018; Villacís et al., 2016).

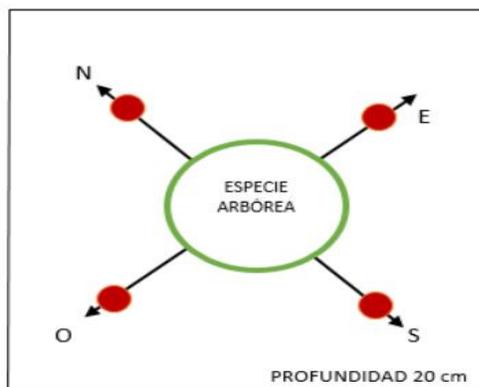
Inoculación de parcelas y obtención de muestras de suelo

En el año 2017, en cada parcela (Tabla 2) se seleccionaron ocho subparcelas (que corresponden a cuatro individuos plantados por especie con mejor desempeño y cuatro claros), el 50 % de las subparcelas fueron inoculadas, un año previo al muestreo, con tierra proveniente del horizonte 0 de bosques aledaños a las parcelas (inóculo). El inóculo se aplicó en toda la superficie de la subparcela (2 m de diámetro) a una concentración de 1 Lm⁻² (Jasper et al., 2016).

Se eligieron 128 subparcelas (Correspondiente a dos individuos inoculados y a dos no inoculados por las tres especies arbóreas seleccionadas y además se seleccionaron dos claros inoculados y dos claros no inoculados, todo para las ocho parcelas). De cada subparcela se tomaron cuatro submuestras de suelo (500 g cada una) a nivel de la rizósfera de 0 - 20 cm con un barreno, en forma de cruz y en sentido N - S y E - O. (Figura 2). Las cuatro submuestras fueron mezcladas para formar una muestra compuesta, que se colocaron en bolsas plásticas *Ziploc*®, que luego fueron etiquetadas y colocadas en un *Cooler*® para asegurar el mantenimiento de la cadena de frío y evitar la exposición directa a la luz del sol.

Figura 2

Esquema representativo de un punto de colección de las submuestras de suelo alrededor de las especies arbóreas



Extracción e identificación de nematodos

La extracción de nematodos se llevó a cabo mediante el método de embudo de Baermann descrito por (Cardoso et al., 2012). De cada muestra compuesta se tomaron 100 g de suelo, los que se colocaron sobre una hoja de papel toalla en un tamiz ubicado en un plato hondo, al que se agregó 200 ml de agua destilada. Se dejaron las muestras en reposo por 24 h

para que se precipiten los nematodos en el fondo del recipiente. Luego se retiró el papel toalla con el suelo y quedo únicamente el agua del recipiente (Vera, 2017). El líquido con los nematodos precipitados fueron trasvasados a vasos de precipitación de 200 ml, los platos se los lavo con una piseta para recoger todos los nematodos posibles. Se colectaron 5 ml de la muestra en cajas Petri, se dejó reposar por 2 minutos y con una micropipeta de 10 μ ml se atraparon los individuos para su identificación y recuento (Marbán, 1990). Para la identificación de las especies se utilizó un estereomicroscopio y microscopio óptico, se llegó a identificar a un nivel de género con la ayuda de claves dicotómicas (Marbán, 1990).

Variables medidas

Abundancia (N)

Se estimó la abundancia **proporcional de las especies** (P_i), mediante la relación entre la abundancia específica (n_i) y la abundancia total (N) de los puntos de muestreo, mediante la siguiente ecuación:

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

Riqueza (S)

Se estimó mediante el inventario del número absoluto de especies registradas (Moreno, 2001).

Similitud

Se calculó mediante el coeficiente de similitud de Sorensen (Moreno, 2001).

- **Coeficiente de similitud de Sorensen**

$$I_s = \frac{2c}{a + b}$$

Donde:

a = número de especies presentes en el sitio A.

b = número de especies presentes en el sitio B.

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B.

Compleitud

Mide el índice de disimilitud en la composición de especies entre pares de ecosistemas (Moreno, 2001). Primero se obtienen dos medidas:

La riqueza total para ambos sitios combinados:

$$S_{AB} = a + b - c$$

Donde:

a = número de especies del sitio A.

b = número de especies del sitio B.

c = número de especies en común entre los sitios A y B.

El número de especies únicas a cualquiera de los dos sitios:

$$U_{AB} = a + b - 2c$$

A partir de estos valores calculamos la complementariedad de los sitios A y B:

$$C_{AB} = \frac{U_{AB}}{S_{AB}}$$

Eficacia del inventario

Mide la eficacia de los inventarios de la riqueza acumulada obtenida y será comparada con la riqueza acumulada estimada, se calculó con estimadores no paramétrica de riqueza (Chao

1, Chao 2, Jackknife de primer orden, Jackknife de segundo orden y Bootstrap) (Moreno, 2001), a continuación sus respectivas ecuaciones:

- **Chao 1**

$$Chao_1 = S + \frac{a^2}{2b}$$

Donde:

S = número de especies en una muestra.

a = número de especies que están representadas solamente por un único individuo en esa muestra.

b = número de especies representadas por exactamente dos individuos en la muestra.

- **Chao 2**

$$Chao_2 = S + \frac{L^2}{2M}$$

Donde:

S = riqueza específica

L = número de especies que ocurren solamente en una muestra.

M = número de especies que ocurren exactamente en dos muestras.

- **Jackknife de primer orden**

$$Jack\ 1 = S + L \frac{m-1}{m}$$

Donde:

S = riqueza específica

L = número de especies que ocurren solamente en una muestra.

m = número de muestras.

- **Bootstrap**

$$Bootstrap = S + \sum(1 - p_j)^n$$

Estructura

La estructura fue medida mediante la aplicación de índices de diversidad 1-Simpson ($1-D$), Shannon (H'), y el índice de equitatividad de Pielou (J') (Achicanoy et al., 2012; C. Moreno, 2001):

Índice de diversidad 1 - Simpson permitió medir la diversidad de las especies, se representó la probabilidad de que dos individuos, dentro de un hábitat, seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie. La fórmula para el índice de Simpson es:

$$1 - D = 1 - \sum(p_i)^2$$

Donde:

$1 - D$ = índice de 1 - Simpson.

p_i = proporción de cada especie presente en la muestra.

Índice de diversidad Shannon permitió medir la diversidad específica, la ventaja de este índice es que no es necesario identificar las especies presentes; basta con poder distinguir unas de otras para realizar el recuento de individuos de cada una de ellas y el recuento total. La fórmula del índice de Shannon es la siguiente:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde:

p_i = abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

$$= \frac{n_i}{N}$$

n_i = número de individuos de la especie

N = número de individuos de todas las especies.

Índice de equitatividad de Pielou permitió medir la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. La fórmula de Pielou es la siguiente:

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Donde:

$$H'_{max} = \ln(S)$$

Diseño experimental

El experimento se dispuso bajo un diseño completamente al azar DCA en parcela subdividida (2x4x2), con dos repeticiones, donde la parcela grande es el tipo de suelo (perturbado y no perturbado), la parcela mediana las especies arbóreas seleccionadas y la parcela pequeña los sitios inoculados y no inoculados. El croquis experimental se muestra en la figura 3.

El modelo matemático será el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + \delta_{l(i)} + E_j + (SE)_{ij} + \sigma_{jk(i)} + I_k + (SI)_{ik} + (EI)_{jk} + (SEI)_{ijk} + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Diversidad de nematodos

μ = Media general

S_i = Efecto del i -ésimo tipo de suelo

$\delta_{i(i)}$ = Error del tipo de suelo

E_j = Efecto de la j -ésima especie

$(SE)_{ij}$ = Efecto de la interacción tipo de suelo * especie

$\sigma_{jk(i)}$ = Error de la especie

I_k = Efecto del k -ésimo inóculo

$(SI)_{ik}$ = Efecto de la interacción del tipo de suelo * inóculo

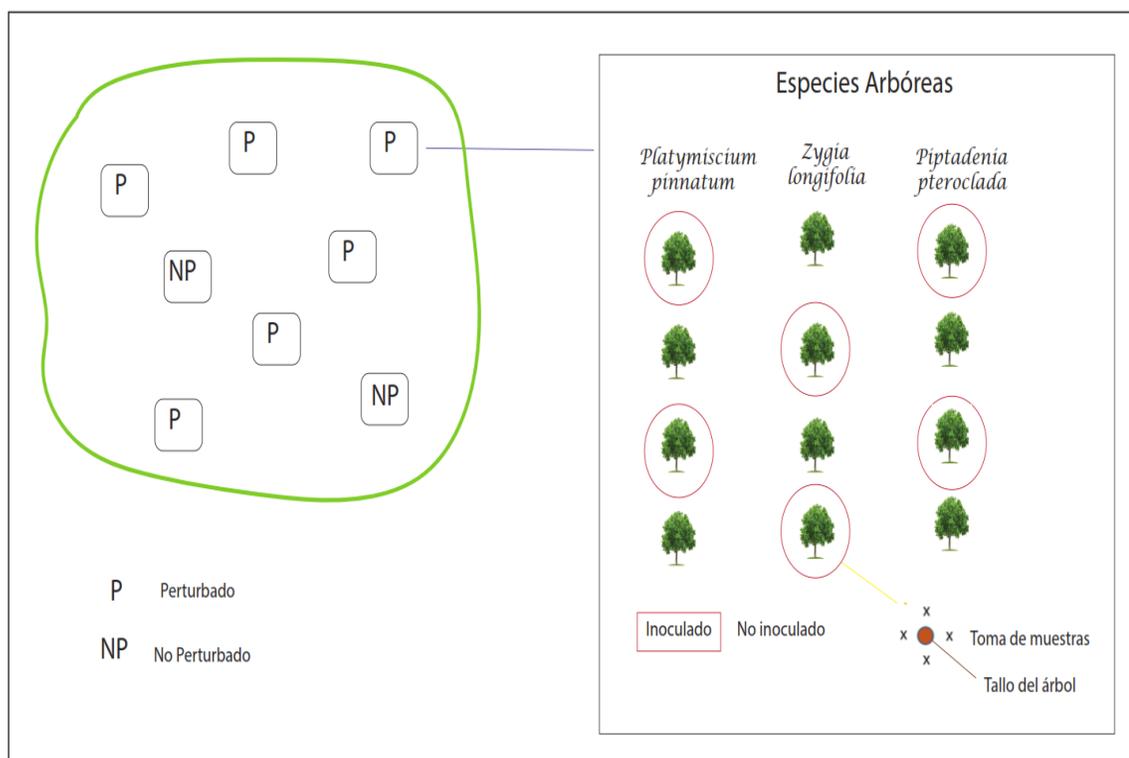
$(EI)_{jk}$ = Efecto de la interacción especie * inóculo

$(SEI)_{ijk}$ = Efecto de la interacción tipo de suelo * especie * inóculo

e_{ijkl} = Error para el inóculo

Figura 3

Croquis Experimental de la Investigación



Análisis estadístico

Las variables que representan riqueza y estructura de la comunidad, fueron caracterizadas con estadística descriptiva (media, error estándar y coeficiente de variación). Para comparar la riqueza y estructura entre tipos de suelos, especies arbóreas y sitios se realizaron análisis de varianza mediante modelos mixtos. Además, se cumplió pruebas de comparación de medias LSD al 5 % para los factores y sus respectivas interacciones. Todos los análisis se ejecutaron en el software estadístico INFOSTAT (Urrutia et al., 2020).

Capítulo IV

Resultados

Composición de especies de nematodos rizosféricos

Se registraron 1 800 individuos de nematodos en la rizósfera de las especies arbóreas *Piptadenia pteroclada*, *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* y en claros inoculados y no inoculados con tierra de bosque natural, plantados en suelos perturbados y no perturbados, pertenecientes a 18 géneros y 11 familias de las clases Adenophorea y Secernentea (Anexo 1). *Tylenchus* sp., 324 (18 %), *Pratylenchus* sp., 187 (10,4 %), *Xiphinema* sp., 162 (9 %), *Ditylenchus* sp., 155 (8,6 %) y *Paratylenchus* sp., 141 (7,8 %), representaron el 53,8 % del total de nematodos rizosféricos colectados. (Tabla 3.)

Seis de los 18 géneros registrados se encontraron en todas las especies arbóreas y claros inoculados y no inoculados de suelos perturbados y no perturbados, mientras que *Rhadinaphelenchus* sp. se encontró en las especies arbóreas inoculadas y no inoculadas en suelos perturbados y *Heterodera* sp. se identificó únicamente en los claros inoculados y no inoculados de suelos perturbados (Tabla 3).

Piptadenia pteroclada, *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* y claros inoculados y no inoculados con tierra de bosque natural en suelos perturbados, presentaron mayor cantidad de nematodos que en las especies arbóreas y claros inoculados y no inoculados en suelos no perturbados, de estas *Piptadenia pteroclada* ($n= 308$), *Platymiscium pinnatum* ($n= 315$) presentaron mayor cantidad de nematodos rizosféricos (Tabla 3).

Tabla 3

Composición, abundancia específica y proporcional de especies de nematodos rizosféricos en sitios perturbados y no perturbados e inoculados colectados en tres especies arbóreas y claro en el periodo noviembre 2019 a febrero 2020

Género	Sitios No Perturbados								Sitios Perturbados								Total Ni (Pi)
	Piptadenia pteroclada		Platymiscium pinnatum		Zygia longifolia		Claro		Piptadenia pteroclada		Platymiscium pinnatum		Zygia longifolia		Claro		
	Ni ni (Pi)	I ni (Pi)	Ni ni (Pi)	I ni (Pi)	Ni ni (Pi)	I ni (Pi)	Ni ni (Pi)	I ni (Pi)	Ni ni (Pi)	I ni (Pi)	Ni ni (Pi)	I ni (Pi)	Ni ni (Pi)	I ni (Pi)	Ni ni (Pi)	I ni (Pi)	
<i>Tylenchus</i> sp.	12 (0,231)	11 (0,136)	13 (0,135)	25 (0,195)	23 (0,187)	12 (0,100)	15 (0,294)	5 (0,102)	29 (0,209)	31 (0,183)	34 (0,181)	19 (0,150)	26 (0,200)	18 (0,131)	18 (0,148)	33 (0,248)	324 (0,180)
<i>Pratylenchus</i> sp.	3 (0,058)	6 (0,074)	4 (0,042)	11 (0,086)	15 (0,122)	3 (0,040)	2 (0,039)	6 (0,123)	14 (0,101)	26 (0,154)	21 (0,112)	15 (0,118)	22 (0,169)	14 (0,102)	16 (0,131)	9 (0,068)	187 (0,104)
<i>Xiphinema</i> sp.	11 (0,212)	9 (0,111)	2 (0,021)	12 (0,094)	21 (0,171)		6 (0,118)	6 (0,122)	11 (0,079)	20 (0,118)	12 (0,064)	15 (0,118)	10 (0,077)	10 (0,117)	4 (0,033)	7 (0,053)	162 (0,090)
<i>Ditylenchus</i> sp.		10 (0,123)	27 (0,281)	16 (0,125)	11 (0,089)	7 (0,093)	4 (0,078)	6 (0,122)	17 (0,122)	12 (0,071)	12 (0,064)	9 (0,071)	7 (0,054)	5 (0,037)	7 (0,057)	5 (0,038)	155 (0,086)
<i>Paratylenchus</i> sp.	2 (0,038)	6 (0,074)	4 (0,042)	12 (0,094)	10 (0,081)	14 (0,187)	2 (0,039)	7 (0,143)	14 (0,101)	10 (0,059)	21 (0,112)	5 (0,039)	5 (0,039)	17 (0,124)	10 (0,082)	2 (0,015)	141 (0,078)
Saprofito Esp. Ind.	6 (0,115)	6 (0,074)	7 (0,073)	6 (0,047)	6 (0,049)	3 (0,040)	2 (0,039)	2 (0,041)	13 (0,094)	18 (0,107)	13 (0,069)	12 (0,094)	16 (0,123)	8 (0,058)	13 (0,107)	6 (0,045)	137 (0,076)
<i>Criconemoides</i> sp.	7 (0,135)	1 (0,012)	2 (0,021)	6 (0,047)	2 (0,016)	7 (0,093)	2 (0,039)	4 (0,082)	13 (0,094)	5 (0,030)	8 (0,043)	9 (0,071)	6 (0,046)	8 (0,058)	3 (0,025)	35 (0,263)	118 (0,066)
<i>Tylenchulus</i> sp.	3 (0,058)		4 (0,042)	15 (0,117)	15 (0,122)	11 (0,147)	1 (0,020)	3 (0,061)	5 (0,036)	7 (0,041)	12 (0,064)	9 (0,071)	7 (0,054)	12 (0,088)	9 (0,074)	3 (0,023)	116 (0,064)
<i>Meloidogyne</i> sp.		6 (0,074)	14 (0,146)	9 (0,070)		7 (0,093)			5 (0,036)	3 (0,018)	9 (0,048)	11 (0,087)	11 (0,085)	7 (0,051)	5 (0,041)	5 (0,038)	92 (0,051)
<i>Rotylenchus</i> sp.	2 (0,038)	11 (0,136)		2 (0,016)	4 (0,033)	4 (0,053)	7 (0,137)		6 (0,043)	7 (0,041)	10 (0,053)	8 (0,063)	6 (0,046)	2 (0,015)	10 (0,082)	6 (0,045)	85 (0,047)
<i>Trophurus</i> sp.			4 (0,042)	2 (0,016)	5 (0,041)			6 (0,118)	3 (0,022)	9 (0,053)	19 (0,101)		3 (0,023)	14 (0,102)	5 (0,041)	8 (0,060)	78 (0,043)
<i>Aglenchus</i> sp.	5 (0,96)	1 (0,012)	2 (0,021)	2 (0,016)	1 (0,008)	5 (0,067)	2 (0,039)	2 (0,041)	2 (0,014)	10 (0,059)	8 (0,043)	3 (0,024)	3 (0,023)	1 (0,007)	9 (0,074)	4 (0,030)	60 (0,033)
<i>Rotylenchulus</i> sp.		2 (0,025)		9 (0,0938)	5 (0,039)	10 (0,081)		2 (0,039)		3 (0,022)	5 (0,030)	1 (0,005)	1 (0,008)	1 (0,008)	8 (0,058)	3 (0,025)	5 (0,038)
<i>Helicotylenchus</i> sp.	1 (0,019)	8 (0,099)	4 (0,012)	1 (0,008)		2 (0,027)		4 (0,082)	2 (0,014)		2 (0,011)	2 (0,016)	4 (0,031)	2 (0,015)	3 (0,025)	3 (0,023)	38 (0,021)
<i>Cephalenchus</i> sp.		2 (0,025)		4 (0,031)				4 (0,082)	2 (0,014)	2 (0,012)		4 (0,032)		3 (0,022)	4 (0,033)		25 (0,014)
<i>Rhadinaphelenchus</i> sp.										4 (0,024)	4 (0,021)	3 (0,024)	3 (0,023)				14 (0,008)
<i>Aphelenchus</i> sp.		2 (0,025)									2 (0,011)	2 (0,016)		2 (0,015)	1 (0,008)	1 (0,008)	10 (0,006)
<i>Heterodera</i> sp.															2 (0,016)	1 (0,008)	3 (0,002)
N	52	81	96	128	123	75	51	49	139	169	188	127	130	137	122	133	1800
S	10	14	13	15	12	11	12	11	15	15	16	16	15	16	17	16	18
1-D	0.8513	0.9017	0.8572	0.8949	0.8795	0.8807	0.8512	0.8971	0.8915	0.8963	0.9057	0.91	0.889	0.9098	0.9144	0.8476	0.9114
e^H/S	0.7901	0.809	0.7119	0.7544	0.7887	0.8566	0.7334	0.9325	0.7451	0.7752	0.7759	0.7946	0.7467	0.7854	0.8016	0.6026	0.7427

Nota. S = Riqueza, N = Abundancia, 1-D = Diversidad (Índice de Simpson), e^H/S = Equitatividad (Índice de Pielou), (ni) = Número de individuos de las especies de nematodos, Pi = Abundancia proporcional de las especies, I = Inoculado, Ni = No inoculado. La cantidad de nematodos colectados fue tomada de una muestra de 5ml/100gr de muestra de suelo de cada sitio.

Esp. Ind. = Especie indeterminada.

Abundancia

En todo el estudio *Tylenchus* sp. con 324 individuos representó el 18 % del total de nematodos rizosféricos colectados, mientras que *Heterodera* sp. representó únicamente el 0,2 % (Tabla 3). En sitios no perturbados como en perturbados la especie más representativa fue *Tylenchus* sp. ($n= 116$; $n= 208$) con 17,7 % y 18,2 % respectivamente, en cambio, las menores especies encontradas fueron *Aphelenchus* sp. ($n= 2$) con 0,03 % y *Heterodera* sp. ($n= 3$) equivalente al 0,2 % (Tabla 4).

Tabla 4

Composición de especies de nematodos rizosféricos por sitio perturbado y no perturbado

Género	No Perturbado	Perturbado	Total
	<i>ni (Pi)</i>	<i>ni (Pi)</i>	<i>ni (Pi)</i>
<i>Tylenchus</i> sp.	116 (0,177)	208 (0,182)	324 (0,180)
<i>Pratylenchus</i> sp.	50 (0,076)	137 (0,120)	187 (0,104)
Saprophyto Esp. Ind.	38 (0,058)	99 (0,087)	137 (0,076)
<i>Xiphinema</i> sp.	67 (0,102)	95 (0,083)	162 (0,090)
<i>Criconemoides</i> sp.	31 (0,047)	87 (0,076)	118 (0,066)
<i>Paratylenchus</i> sp.	57 (0,087)	84 (0,073)	141 (0,078)
<i>Ditylenchus</i> sp.	81 (0,124)	74 (0,065)	155 (0,086)
<i>Tylenchulus</i> sp.	52 (0,079)	64 (0,056)	116 (0,064)
<i>Trophurus</i> sp.	17 (0,026)	61 (0,053)	78 (0,043)
<i>Meloidogyne</i> sp.	36 (0,055)	56 (0,049)	92 (0,051)
<i>Rotylenchus</i> sp.	30 (0,046)	55 (0,048)	85 (0,047)
<i>Aglenchus</i> sp.	20 (0,031)	40 (0,035)	60 (0,033)
<i>Rotylenchulus</i> sp.	28 (0,043)	27 (0,024)	55 (0,031)
<i>Helicotylenchus</i> sp.	20 (0,031)	18 (0,016)	38 (0,021)
<i>Cephalenchus</i> sp.	10 (0,015)	15 (0,013)	25 (0,014)
<i>Rhadinaphelenchus</i> sp.		14 (0,012)	14 (0,008)
<i>Aphelenchus</i> sp.	2 (0,003)	8 (0,007)	10 (0,006)
<i>Heterodera</i> sp.		3 (0,002)	3 (0,002)
S	16	18	18
N	655	1 145	1 800

Nota. S = Riqueza, N = Abundancia, (ni) = Número de individuos de nematodos rizosféricos, Pi= Abundancia proporcional de las especies. Esp. Ind. = Especie indeterminada.

El nematodo rizosférico más abundante fue *Tylenchus* sp. presente en todas las especies arbóreas y en los claros. *Platymiscium pinnatum* presentó un mayor número de individuos de la especie *Tylenchus* sp. ($n= 91$) equivalente al 16,9 % y el menor individuo fue *Aphelenchus* sp. ($n= 4$) con una equivalencia del 0,7 % (Tabla 5).

Tabla 5

Composición de nematodos rizosféricos por especies arbóreas y claros

Género	<i>Piptadenia pteroclada</i>	<i>Platymiscium pinnatum</i>	<i>Zygia longifolia</i>	Claro	Total
	<i>ni (Pi)</i>	<i>ni (Pi)</i>	<i>ni (Pi)</i>	<i>ni (Pi)</i>	<i>ni (Pi)</i>
<i>Tylenchus</i> sp.	83 (0,188)	91 (0,169)	79 (0,170)	71 (0,200)	324 (0,180)
<i>Criconemoides</i> sp.	26 (0,059)	25 (0,046)	23 (0,049)	44 (0,124)	118 (0,066)
<i>Pratylenchus</i> sp.	49 (0,111)	51 (0,095)	54 (0,116)	33 (0,093)	187 (0,104)
<i>Xiphinema</i> sp.	51 (0,116)	41 (0,076)	47 (0,101)	23 (0,065)	162 (0,90)
Saprophyto Esp. Ind.	43 (0,098)	38 (0,071)	33 (0,071)	23 (0,065)	137 (0,076)
<i>Rotylenchus</i> sp.	26 (0,059)	20 (0,037)	16 (0,034)	23 (0,065)	85 (0,047)
<i>Ditylenchus</i> sp.	39 (0,088)	64 (0,119)	30 (0,065)	22 (0,062)	155 (0,086)
<i>Paratylenchus</i> sp.	32 (0,073)	42 (0,078)	46 (0,099)	21 (0,059)	141 (0,078)
<i>Trophurus</i> sp.	12 (0,027)	25 (0,046)	22 (0,047)	19 (0,054)	78 (0,043)
<i>Aglenchus</i> sp.	18 (0,041)	15 (0,028)	10 (0,022)	17 (0,048)	60 (0,033)
<i>Tylenchulus</i> sp.	15 (0,034)	40 (0,074)	45 (0,097)	16 (0,045)	116 (0,064)
<i>Rotylenchulus</i> sp.	10 (0,23)	16 (0,030)	19 (0,041)	10 (0,028)	55 (0,031)
<i>Meloidogyne</i> sp.	14 (0,032)	43 (0,080)	25 (0,054)	10 (0,028)	92 (0,051)
<i>Helicotylenchus</i> sp.	11 (0,025)	9 (0,017)	8 (0,017)	10 (0,028)	38 (0,021)
<i>Cephalenchus</i> sp.	6 (0,014)	8 (0,015)	3 (0,006)	8 (0,023)	25 (0,014)
<i>Heterodera</i> sp.				3 (0,008)	3 (0,002)
<i>Aphelenchus</i> sp.	2 (0,005)	4 (0,007)	2 (0,004)	2 (0,006)	10 (0,006)
<i>Rhadinaphelenchus</i> sp.	4 (0,009)	7 (0,013)	3 (0,006)		14 (0,008)
N	441	539	465	355	1 800
S	17	17	17	17	18

Nota. S = Riqueza, N = Abundancia, (ni) = Número de individuos de nematodos rizosféricos, Pi= Abundancia proporcional de las especies. Esp. Ind. = Especie indeterminada.

Tylenchus sp. presentó mayor cantidad de individuos tanto en las parcelas pequeñas inoculadas como no inoculadas, de estas en las parcelas no inoculadas presentó 170 nematodos rizosféricos equivalente al 18,9 %, en menor proporción fueron *Rhadinaphelenchus* sp. ($n= 7$)

que representó el 0,8 %, seguido de *Cephalenchus* sp. ($n= 6$) con 0,7 %, *Aphelenchus* sp. ($n= 3$) con 0,3 % y *Heterodera* sp. ($n= 2$) con 0,2 % (Tabla 6).

Tabla 6

Composición de nematodos rizosféricos en parcelas pequeñas inoculadas y no inoculadas

Género	No Inoculado <i>ni (Pi)</i>	Inoculado <i>ni (Pi)</i>	Total <i>ni (Pi)</i>
<i>Tylenchus</i> sp.	170 (0,189)	154 (0,17)	324 (0,180)
<i>Pratylenchus</i> sp.	97 (0,110)	90 (0,100)	187 (0,104)
<i>Ditylenchus</i> sp.	85 (0,094)	70 (0,078)	155 (0,086)
<i>Xiphinema</i> sp.	77 (0,0855)	85 (0,095)	162 (0,090)
Saprophyto Esp. Ind.	76 (0,084)	61 (0,068)	137 (0,076)
<i>Paratylenchus</i> sp.	68 (0,076)	73 (0,081)	141 (0,078)
<i>Tylenchulus</i> sp.	56 (0,062)	60 (0,067)	116 (0,064)
<i>Rotylenchus</i> sp.	45 (0,050)	40 (0,045)	85 (0,047)
<i>Trophurus</i> sp.	45 (0,050)	33 (0,037)	78 (0,043)
<i>Meloidogyne</i> sp.	44 (0,049)	48 (0,053)	92 (0,051)
<i>Criconemoides</i> sp.	43 (0,048)	75 (0,083)	118 (0,066)
<i>Aglenchus</i> sp.	32 (0,036)	28 (0,031)	60 (0,033)
<i>Rotylenchulus</i> sp.	29 (0,032)	26 (0,029)	55 (0,031)
<i>Helicotylenchus</i> sp.	16 (0,018)	22 (0,025)	38 (0,021)
<i>Rhadinaphelenchus</i> sp.	7 (0,008)	7 (0,008)	14 (0,008)
<i>Cephalenchus</i> sp.	6 (0,007)	19 (0,021)	25 (0,014)
<i>Aphelenchus</i> sp.	3 (0,003)	7 (0,008)	10 (0,006)
<i>Heterodera</i> sp.	2 (0,002)	1 (0,001)	3 (0,002)
S	18	18	18
N	901	899	1 800

Nota. S = Riqueza, N = Abundancia, (ni) = Número de individuos de nematodos rizosféricos, Pi= Abundancia proporcional de las especies. Esp. Ind. = Especie indeterminada.

En el sitio perturbado de la especie arbórea *Platymiscium pinnatum* de la parcela no inoculada se registró la mayor cantidad de nematodos rizosféricos del género *Tylenchus* sp. ($n= 34$) representando el 18,1 %, seguido de *Pratylenchus* sp. ($n= 21$) con 11,2 % y *Paratylenchus* sp. ($n= 21$) con 11,2 %, en cambio, en la parcela inoculada el género *Tylenchus* sp. ($n= 19$) equivalente al 15 %, seguido de *Pratylenchus* sp. ($n= 15$) con 11,8 % y *Xiphinema* sp. ($n= 15$) con

11,8 % fueron las más representativas, en menor cantidad de individuos colectados fue para el género *Rotylenchulus sp.* ($n= 1$) con 0,05 % para la parcela no inoculada, en cambio para la parcela inoculada fue *Rotylenchulus sp.* ($n= 1$) con 0,08 % (Tabla 3).

Para sitios perturbados en la especie arbórea *Platymiscium pinnatum* de la subparcela no inoculada se registró la mayor cantidad de nematodos rizosféricos del género *Ditylenchus sp.* ($n= 27$) equivalente al 28,1 %, seguido de *Meloidogyne sp.* ($n= 14$) con 14,6 % y *Tylenchus sp.* ($n= 13$) con 13,5 %, por otro lado, en la parcela inoculada la mayor cantidad de individuos fueron *Tylenchus sp.* ($n= 25$) con 19,5 %, seguido de *Ditylenchus sp.* ($n= 16$) con 12,5 % y *Tylenchulus sp.* ($n= 15$) con 11,7 %, en menor proporción los individuos identificados fueron *Aglenchus sp.* ($n= 2$), *Criconemoides sp.* ($n= 2$) y *Xiphinema sp.* ($n= 2$) con 2,1 % para las tres especies en la parcela no inoculada, para la parcela inoculada el género *Helicotylenchus sp.* ($n= 1$) con 0,08 % (Tabla 3).

Riqueza

En los sitios no perturbados se registraron 16 géneros de nematodos, mientras que en los sitios perturbados 18 géneros; la riqueza alcanzó los 17 géneros en los claros, *Piptadenia pteroclada*, *Platymiscium pinnatum* y *Zygia longifolia*. Considerando la inoculación, se registraron 18 especies tanto en subparcelas perturbadas como en no perturbadas (Tabla 3).

Los estimadores de riqueza Chao 2, Jackknife de primer orden, Bootstrap y Chao 1, indicaron que la riqueza observada está por encima del 84,19 %, 88,88 %, 94,69 % y 98,52 % de la riqueza esperada. El estimador Chao 1 presentó los porcentajes más altos de especies de nematodos rizosféricos esperadas, en los meses de estudio realizados (Tabla 7).

Todos los estimadores no paramétricos de riqueza indicaron que la riqueza observada sobrepasó el 70 % de la riqueza esperada (Tabla 7).

Tabla 7

Porcentaje de estimación de riqueza obtenida en relación con la riqueza esperada mediante estimadores no paramétricos en el tiempo

Meses	S Observada	S Esperada			
		Chao 2 (%)	Jack 1 (%)	Bootstrap (%)	Chao 1 (%)
Noviembre	15	100	100	100	98,52
Diciembre	16	99,33	93,46	96,65	100
Enero	16	87,61	90,32	95,36	100
Febrero	18	84,19	88,88	94,69	100

Nota. S = Riqueza.

Diversidad y Equitatividad

Las especies de nematodos rizosféricos en los sitios perturbados de las parcelas de especies arbóreas y claros tanto en subparcelas inoculadas como no inoculadas, presentan los valores más altos de diversidad a diferencia de suelos no perturbados de las especies arbóreas no inoculadas (Tabla 3).

La equitatividad de especies de nematodos rizosféricos están heterogéneamente distribuidas tanto en sitios perturbados y no perturbados de especies arbóreas y claros inoculados como no inoculados. (Tabla 3).

Similitud y Completitud

Comparando entre suelos perturbados y no perturbados se registraron 1 145 nematodos rizosféricos de 18 géneros correspondiente a 10 familias, mientras que en los sitios no perturbados se encontraron 655 individuos de 16 géneros correspondiente a nueve familias. La similitud entre sitios es del 94 %, mientras que la complementariedad es del 11 % (Tabla 8).

Tabla 8

Comparación de valores de similitud y complementariedad de las especies de nematodos rizosféricos entre sitios perturbados y no perturbados

Género	No perturbado	Perturbado
<i>Tylenchus</i> sp.	116	208
<i>Pratylenchus</i> sp.	50	137
Saprophyto Esp. Ind.	38	99
<i>Xiphinema</i> sp.	67	95
<i>Criconemoides</i> sp.	31	87
<i>Paratylenchus</i> sp.	57	84
<i>Ditylenchus</i> sp.	81	74
<i>Tylenchulus</i> sp.	52	64
<i>Trophurus</i> sp.	17	61
<i>Meloidogyne</i> sp.	36	56
<i>Rotylenchus</i> sp.	30	55
<i>Aglencus</i> sp.	20	40
<i>Rotylenchulus</i> sp.	28	27
<i>Helicotylenchus</i> sp.	20	18
<i>Cephalencus</i> sp.	10	15
<i>Rhadinaphelenchus</i> sp.		14
<i>Aphelenchus</i> sp.	2	8
<i>Heterodera</i> sp.		3
S	16	18
N	655	1 145
1-D	0,9078	0,9099
Similitud		0,9411
Complementariedad		0,1111

Nota. S = Riqueza, N = Abundancia y 1-D = Diversidad (Índice de Simpson) Esp. Ind. =Especie indeterminada. Esp. Ind. = Especie indeterminada.

Comparando entre suelos inoculados y no inoculados se registraron 899 individuos de 18 géneros correspondientes a 10 familias en los sitios inoculados, mientras que en los sitios no inoculados se encontraron 901 nematodos rizosféricos de 18 géneros correspondiente a 18 familias. La similitud entre sitios es del 100 %, por ende, la complementariedad es del cero por ciento (Tabla 9).

Tabla 9

Comparación de valores de similitud y complementariedad de las especies de nematodos rizosféricos entre subparcelas inoculadas y no inoculadas

Género	No Inoculado	Inoculado
<i>Tylenchus</i> sp.	170	154
<i>Pratylenchus</i> sp.	97	90
<i>Ditylenchus</i> sp.	85	70
<i>Xiphinema</i> sp.	77	85
Saprophyto Esp. Ind.	76	61
<i>Paratylenchus</i> sp.	68	73
<i>Tylenchulus</i> sp.	56	60
<i>Rotylenchus</i> sp.	45	40
<i>Trophurus</i> sp.	45	33
<i>Meloidogyne</i> sp.	44	48
<i>Criconemoides</i> sp.	43	75
<i>Aglenchus</i> sp.	32	28
<i>Rotylenchulus</i> sp.	29	26
<i>Helicotylenchus</i> sp.	16	22
<i>Rhadinaphelenchus</i> sp.	7	7
<i>Cephalenchus</i> sp.	6	19
<i>Aphelenchus</i> sp.	3	7
<i>Heterodera</i> sp.	2	1
S	18	18
N	901	899
1-D	0,9075	0,9139
Similitud		1
Complementariedad		0

Nota. S = Riqueza, N = Abundancia y 1-D = Diversidad (Índice de Simpson). Esp. Ind. = Especie indeterminada.

La disimilitud de nematodos rizosféricos entre parcelas inoculadas y no inoculadas son altas en suelos perturbados de la especie arbórea *Zygia longifolia* con un valor del 91 %, le sigue los claros perturbados con el 90 % y en suelos no perturbados de la especie arbórea *Platymiscium pinnatum* con el 83 %, a diferencia de especies de nematodos rizosféricos en sitios

no perturbados de la especie *Platymiscium pinnatum* con 36 % y sitio perturbado de la especie arbórea *Piptadenia pteroclada* con el 31 % de completitud (Tabla 10).

Tabla 10

Valores de completitud y similitud de especies de nematodos rizosféricos entre sitios inoculados y no inoculados de la perturbación del suelo en las especies arbóreas y claros

Perturbación	Especie Arbórea	Inoculación	Complementariedad	Similitud
Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	No inoculado	0,91	0,17
Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	Si inoculado		
Perturbado	Claro	No inoculado	0,9	0,18
Perturbado	Claro	Si inoculado		
No Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	No inoculado	0,83	0,29
No Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	Si inoculado		
No Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	No inoculado	0,77	0,38
No Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	Si inoculado		
Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	No inoculado	0,75	0,4
Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	Si inoculado		
No Perturbado	Claro	No inoculado	0,71	0,44
No Perturbado	Claro	Si inoculado		
Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	No inoculado	0,7	0,3
Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	Si inoculado		
Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	No inoculado	0,7	0,46
Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	Si inoculado		
Perturbado	Claro	No inoculado	0,67	0,5
Perturbado	Claro	Si inoculado		
Perturbado	Claro	No inoculado	0,67	0,5
Perturbado	Claro	Si inoculado		
Perturbado	Claro	No inoculado	0,67	0,5
Perturbado	Claro	Si inoculado		
Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	No inoculado	0,67	0,5
Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	Si inoculado		
Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	No inoculado	0,64	0,53
Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	Si inoculado		
Perturbado	Claro	No inoculado	0,62	0,56
Perturbado	Claro	Si inoculado		
Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	No inoculado	0,6	0,57
Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	Si inoculado		
No Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	No inoculado	0,58	0,59
No Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	Si inoculado		

Perturbación	Especie Arbórea	Inoculación	Complementariedad	Similitud
Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	No inoculado	0,58	0,59
Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	Si inoculado		
Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	No inoculado	0,58	0,59
Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	Si inoculado		
Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	No inoculado	0,55	0,63
Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	Si inoculado		
Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	No inoculado	0,55	0,63
Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	Si inoculado		
Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	No inoculado	0,55	0,63
Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	Si inoculado		
No Perturbado	Claro	No inoculado	0,54	0,63
No Perturbado	Claro	Si inoculado		
Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	No inoculado	0,54	0,63
Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	Si inoculado		
Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	No inoculado	0,5	0,67
Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	Si inoculado		
Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	No inoculado	0,47	0,7
Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	Si inoculado		
No Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	No inoculado	0,46	0,7
No Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	Si inoculado		
Perturbado	Claro	No inoculado	0,46	0,71
Perturbado	Claro	Si inoculado		
No Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	No inoculado	0,39	0,76
No Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	Si inoculado		
Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	No inoculado	0,36	0,78
Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	Si inoculado		
Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	No inoculado	0,36	0,78
Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	Si inoculado		
No Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	No inoculado	0,36	0,78
No Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	Si inoculado		
Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	No inoculado	0,31	0,81
Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	Si inoculado		

La similitud de nematodos rizosféricos entre parcelas inoculadas y no inoculadas es alta en suelos perturbados en la especie arbórea *Piptadenia pteroclada* con un valor del 81 %, le sigue suelo no perturbado en *Platymiscium pinnatum* y suelo perturbado en *Zygia longifolia* con el 78 %, a diferencia del suelo perturbado en claro con el 18 % de igualdad (Tabla 10).

Análisis de diversidad entre especies arbóreas y sitios perturbados y no perturbados

Se encontró un efecto significativo de la interacción perturbación x especie arbórea para la abundancia de nematodos ($F= 2,79$; $p= 0,050$).

Los nematodos presentes en suelos no perturbados de las especies arbóreas *Platymiscium pinnatum* y *Zygia longifolia* mostraron mayor abundancia respecto a suelos perturbados en la especie *Zygia longifolia* y claro (Tabla 11).

Tabla 11

Promedio \pm error estándar de la abundancia de nematodos presentes en la interacción perturbación por especie arbórea

Perturbación	Especie Arbórea	Abundancia
No Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	56,00 \pm 17,28 a
No Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	49,50 \pm 10,00 a
No Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	33,25 \pm 5,92 b
Perturbado	<i>Platymiscium pinnatum</i>	28,83 \pm 4,14 bc
Perturbado	<i>Piptadenia pteroclada</i>	26,00 \pm 1,76 bc
No Perturbado	Claro	25,00 \pm 4,14 bc
Perturbado	<i>Zygia longifolia</i>	22,25 \pm 3,30 c
Perturbado	Claro	21,25 \pm 3,44 c

Nota. Letras minúsculas diferentes, indican diferencias significativas al 95%. Los datos con negrilla pertenecen a valores con mayor y menor promedio.

Los índices de diversidad de Shannon ($F= 3,85$; $p= 0,0151$), Simpson 1-D ($F= 3,66$; $p= 0,0187$), y la riqueza específica ($F= 2,92$; $p= 0,0435$), mostraron un efecto significativo para las especies arbóreas.

Las tres especies arbóreas presentaron mayor riqueza y diversidad respecto a los claros (Tabla 12). Además, el índice de Pielou no presentó diferencia significativa de la perturbación, ($F= 0,01$; $p= 0,9438$) el árbol sp. ($F= 1,73$; $p= 0,1738$) e inoculación ($F= 0,17$; $p= 6807$).

La complementariedad y similitud no presentó diferencias significativas entre sitios perturbados y no perturbados ($F= 0,06$; $p= 0,8039$), entre especies arbóreas y claros ($F= 1,11$; $p= 0,3638$) y sus respectivas interacciones ($F= 0.02$; $p= 0,9963$).

Tabla 12

Promedio \pm error estándar de la riqueza y estructura de la comunidad de nematodos según las tres especies arbóreas y claro

Especie Arbórea	Riqueza	Estructura	
		Simpson 1-D	Shannon
<i>Piptadenia pteroclada</i>	9,08 \pm 0,40 a	0,85 \pm 0,01 a	2,05 \pm 0,05 a
<i>Zygia longifolia</i>	8,75 \pm 0,72 ab	0,84 \pm 0,01 ab	1,94 \pm 0,06 ab
<i>Platymiscium pinnatum</i>	8,17 \pm 0,45 ab	0,81 \pm 0,02 ab	1,90 \pm 0,10 ab
Claro	7,08 \pm 0,46 b	0,77 \pm 0,03 b	1,74 \pm 0,07 b

Nota. Letras diferentes indican diferencias significativas al 95%. Los datos con negrilla pertenecen a

valores con mayor y menor media.

Capítulo V

Discusión

Composición de nematodos rizosféricos

En estudios previos en bosques tropicales se han registrado 28 géneros de 22 familias de las clases Adenophorea y Secernentea del Phylum Nematoda (Achicanoy et al., 2012; Arévalo et al., 2007; Melo, 2011; Millán et al., 2016); por lo tanto, los registros del presente estudio representan el 55 % de los géneros y el 21 % de las familias de los nematodos reportados en la Amazonia.

El número de géneros y familias de nematodos reportados en los sitios perturbados del presente estudio presentan similitud al estudio de Cardoso et al. (2016) quienes registraron 17 géneros en suelos forestales y cañaverales de la selva amazónica de Brasil; por su parte McQueen & Treonis (2019) reportaron 24 familias en la selva tropical de Belice; mientras que Tovar (2011) encontró 45 géneros en el bosque andino de Cuenca. Las diferencias de géneros y familias registrados en este trabajo se deben a que la riqueza biológica está influida por las características propias del ecosistema (tipo de vegetación y suelos, ubicación geográfica y clima) (Matveeva & Sushchuk, 2016), y a que los nematodos y la meiofauna en general se caracterizan por una alta sensibilidad a las actividades antrópicas por lo que existe la variación de la composición de los nematodos en ecosistemas perturbados (Bongers & Ferris, 1999; Varela, 2013; Zeppilli et al., 2015). Debe aclararse que en ecosistemas poco perturbados albergan comunidades más diversas de organismos en la rizosfera, como lombrices, nematodos, colémbolos, Formícidos y hongos del suelo (Ali et al., 2017; Cadet, 1998).

Tylenchus (familia Tylenchidae), fue el género más frecuente en el presente estudio, ya que habita en casi todos los tipos de suelo del planeta; normalmente en la rizósfera de bosques tropicales se registra con mayor repetición (Qing & Bert, 2019) por lo que su presencia era esperada.

Pratylenchus, *Xiphinema*, *Ditylenchus*, *Paratylenchus* y saprófitos son los siguientes después de *Tylenchus*, al ser los tres primeros microorganismos fitoparásitos y los saprofitos (bacterióvoros y fungívoros) son capaces de habitar cualquier ambiente natural y antrópico, al ser habitantes normales de bosques ricos en materia orgánica, y además de tener una estrecha relación como habitantes de la interface raíz-suelo (Porazinska et al., 2010, 2012; Tovar, 2011), por lo tanto, lo descrito también por Xiao et al. (2020), que habla que en bosques tropicales los nemátodos de los gremios tróficos: fitoparásitos, bacterióvoros y fungívoros son comúnmente registrados, por lo que su registro era previsto.

Abundancia

En el presente estudio la abundancia representa la cantidad de nematodos colectados en 5 ml por cada 100 g de suelo; utilizando otras técnicas de colección en ambientes agroforestales no degradados Forge & Simard (2001); Millán et al. (2016); Porazinska et al. (2012) colectaron 1 124, 1 722 y 1 690 nematodos respectivamente, por lo que las variaciones existentes en la abundancia de nematodos pueden deberse además de los niveles de degradación de los suelos a las distintas técnicas y variaciones en el esfuerzo de muestreo de cada estudio.

Existe una diferencia en la abundancia de nematodos en suelos perturbados remediados por la extracción petrolera que en suelos no perturbados, esto se debe a que a los cinco años de restauración la biocenosis de los suelos contaminados produce una alta abundancia de

nematodos (Gruzdeva & Suschchuk, 2010). Además el clima, textura y fertilidad del suelo juega un rol importante en la movilidad de los nematodos (Forrester et al., 2013; Steudel et al., 2012), por lo tanto las diferencias de la abundancia encontradas podría deberse también a las divergencias en las características físico-químicas de los suelos donde se plantaron las especies arbóreas utilizadas en la presente investigación (Espinoza, 2018).

Hay una diferencia significativa entre la abundancia de nematodos de suelos no perturbados entre las especies arbóreas *Platymiscium pinnatum* y *Zygia longifolia*; así mismo Quinsasamín (2019) encontró que la abundancia de hongos rizosféricos difiere significativamente en estas especies de árboles. Cabe recalcar que *Platymiscium pinnatum*, *Piptadenia pteroclada* y *Zygia longifolia* (Fab-Leguminosae) han logrado mejor su desempeño que otras especies arbóreas en las parcelas estudiadas (Espinoza, 2018; Villacís et al., 2016), por lo tanto las raíces superficiales y el aporte de la materia orgánica de estas plantas en bosques tropicales (Gallegos, 2019), aportan con recursos necesarios para el desarrollo de hongos y nemátodos en ecosistemas degradados que han sido restaurados con estas tres especies Leguminosas (Li et al., 2006; Xiao et al., 2020).

Otro estudio también señala que la abundancia de nematodos que se alimentan de plantas tienen mayor prevalencia en sitios cálidos y en menor grado están los que se alimentan de bacterias y hongos (Nielsen et al., 2014), esto puede deberse a que su sistema radicular está presente a la altura donde se realizó la toma de muestras de suelo (Espinoza, 2018), por lo que se podría realizar un estudio de la extracción de nematodos en la raíces de las especies arbóreas estudiadas para determinar el comportamiento en la abundancia y riqueza de estos nematodos respecto a los del presente estudio.

Riqueza

Tanto las especies arbóreas inoculadas como las no inoculadas en suelos perturbados, presentaron mayor riqueza de nematodos rizosféricos respecto a los claros. Debe resaltarse, además, que en este estudio se presentó una leve diferencia de la riqueza de nematodos de los suelos inoculados frente a los no inoculados, esto probablemente se deba a que se midió la riqueza de nematodos un año después de la inoculación de las coronas arbóreas, probablemente este resultado cambie con el paso del tiempo, pues Jasper et al. (2016) al evaluar la riqueza de nematodos, luego de 6 años de la aplicación del inóculo, encontró mayor riqueza en suelos inoculados frente a los no inoculados.

Bloemers et al. (1997) infirió que la riqueza de nemátodos en lugares boscosos son mayores que en zonas despejadas por la tala y quema del bosque; estudios anteriores en el mismo sitio de investigación del presente trabajo encontraron que *Piptademia pteroclada* y *Platymiscium pinnatum* presentan mayor riqueza fúngica con respecto de *Zygia longifolia* y los claros (Quinsasamín, 2019; Remache, 2020); un efecto similar ocurrió con la riqueza de nematodos donde *Platymiscium pinnatum* presentó la mayor riqueza frente a las otras dos especies arbóreas y los claro, por lo tanto, se puede inferir que la rizósfera de *Platymiscium pinnatum* oferta condiciones óptimas para albergar mayor riqueza de nematodos y hongos.

Considerando que los estimadores no paramétricos de riqueza indicaron que se registró más del 90 % de las especies nematológicas esperadas se deduce que el muestreo fue eficiente, por lo tanto no se esperan cambios significativos en los valores de riqueza si se aumentarían los periodos de muestreo (Feinsinger, 2002; Palmer, 1990).

Diversidad y Equitatividad

Ballina et al. (2012) demostraron que la diversidad de nematodos es mayor en bosques de más de 15 años sin alteración antrópica, además Otero et al. (2002) encontraron que los nematodos son tolerantes a los cambio antrópicos, debe recordarse que las parcelas donde se realizó la investigación a pesar de estar afectadas por actividades inherente a la extracción petrolera, están ubicadas en bosques tropicales amazónicos del Ecuador, por lo tanto la alta diversidad nematológica reportada en este trabajo era esperada dado que los altos niveles de diversidad y endemismo ocurren en las regiones tropicales del planeta (Noguera-urbano, 2016).

Se asume que la similitud de la diversidad y equitatividad en suelos perturbados y no perturbados inoculados con tierra natural reportadas en este trabajo podría deberse a que el inóculo aun no realiza el efecto esperado a fin de encontrar diferencias significativas de la estructura de la comunidad nematológica entre suelos inoculados y no inoculados (Pozo, com. pers.).

Se conoce que el aumento de la diversidad de nematodos está relacionada con la presencia y abundancia de plantas que en lugares con escasa o nula presencia de materia vegetal (De Deyn et al., 2004; Eisenhauer et al., 2011), por lo tanto, los mayores valores de diversidad de Shannon y Simpson reportados en las tres especies arbóreas respecto a las parcelas sin presencia de árboles (claros), soportan la teoría de que los nematodos presentan alta riqueza en espacios que presentan cobertura arbórea.

La presencia de árboles mejora la cantidad de materia orgánica en el suelo, aumenta la cantidad de enzimas esenciales que estimulan el crecimiento de la red trófica en las coronas arbóreas (Broeckling et al., 2008; Moreno et al., 2011); además la revegetación aumenta el área

de la rizósfera, dando mayor capacidad funcional a los microorganismos (Benítez et al., 2019), estas afirmaciones explicarían la alta abundancia, riqueza y diversidad de nematodos reportadas para las tres especies arbóreas investigadas.

Similitud y Completitud

Los grados de similitud/disimilitud encontrados entre: a) sitios perturbados y no perturbados y b) suelos inoculados y no inoculados, indican que estos ecosistemas presentan especies de nematodos rizosféricos idénticos. Estos resultados podrían deberse a que los sitios perturbados inoculados no están ganando ni perdiendo con el efecto de la restauración ya que la inoculación apenas ocurrió un año previo al muestreo de nemátodos, por lo que es necesario realizar más pruebas a medida que aumente el tiempo de inoculación en espera a que mejoren los valores de disimilitud, pues debe recordarse que a largo plazo la inoculación con suelos nativos facilita la restauración ecosistémica (Liu et al., 2020; Noreika et al., 2020; Palmer, 1990).

Las plantas y sus entidades del suelo están estrechamente asociadas e influyen mutuamente a cambios naturales o antrópicos para su desarrollo ecosistémico (Bauer et al., 2015; Van der Wal et al., 2006), haciendo que los efectos de la inoculación varíen en diferentes tipos de plantas respecto a su producción de nutrientes necesarios para el desarrollo de la microfauna de la rizosfera, estos cambios se han detectado tanto en sistemas naturales como agrícolas (Jasper et al., 2018; Kulmatiski & Berad, 2011), por lo tanto, en el presente estudio suelos perturbados en *Zygia longifolia* la disimilitud es mayor siendo la similitud menor entre sitios inoculados y no inoculados, en cambio en suelos perturbados en *Piptadenia pteroclada* la disimilitud es menor y la similitud es mayor entre sitios inoculados y no inoculados.

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La inoculación microbiana edáfica no causó ningún efecto sobre la completitud y estructura de la comunidad de nematodos presentados en suelos afectados por la extracción petrolera e inoculados con suelo de bosque natural.

En la rizosfera de las tres especies arbóreas de suelos perturbados se encontró la mayor abundancia y riqueza de nematodos.

La diversidad, similitud y completitud fueron idénticos en la rizósfera de las tres especies arbóreas sobre suelos perturbados y no perturbados.

La inoculación microbiana no causó ningún efecto sobre la abundancia, riqueza, diversidad, similitud y completitud de la comunidad de nematodos rizosféricos en las tres especies arbóreas sobre suelos perturbados y no perturbados.

Recomendaciones

Realizar un análisis de la comunidad de nematodos presentes al interior de las raíces de las especies arbóreas estudiadas.

Investigar en el tiempo la abundancia, riqueza, diversidad, similitud y disimilitud de los nematodos rizosféricos, para saber si existen cambios positivos o negativos respecto a la remediación de suelos contaminados.

Efectuar la extracción e identificación de nematodos rizosféricos en el Centro de Investigación de Tecnologías Ambientales de Petroamazonas EP, localizado en la provincia de

Sucumbíos para evitar la mortalidad de individuos por efecto del largo tiempo que conlleva el transporte de las muestras desde los sitios de colecta hasta los laboratorios del IASA.

Bibliografía

- Achicanoy, J., Navia, J., & Betancourth, C. (2012). DINÁMICA POBLACIONAL DE NEMATODOS DE VIDA LIBRE EN DIFERENTES USOS Y MANEJOS DEL SUELO. *REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS*, 13.
- Ali, N., Tavoillot, J., Besnard, G., Khadiri, B., & Dmowska, E. (2017). How anthropogenic changes may affect soil-borne parasite diversity? Plant-parasitic nematode communities associated with olive trees in Morocco as a case study. *BMC Ecology*, 17(4).
- Arévalo, G., Zúñiga, C., Valigar, B., Bailey, B., & Canto, M. (2007). Dinámica poblacional de nemátodos asociados al sistema de cultivo tradicional de cacao en la Amazonía Peruana. *Agricultural Research Center*.
- Arias, R., Tapia, A., Tapia, A., Santacruz, L., Yasaca, R., & Miranda, N. (2012). Evaluación de la biodiversidad en cinco comunidades Kichwa de la zona de colonización de la alta Amazonía ecuatoriana. *Revista Amazónica: Ciencia y Tecnología*, 1(3), 157–172.
- Ballina, H., Herrera, E., Kantun, E., Suárez, J., & Ruiz, E. (2012). Diversidad de nematodos del suelo en una selva tropical mexicana. *Fitosanidad*, 16(2), 97–100.
- Banco Central Ecuador. (2019). *Reporte del sector petrolero*.
- Bauer, J., Mack, K., & Bever, J. (2015). Plant-soil feedbacks as drivers of succession: Evidence from remnant and restored tallgrass prairies. *Ecosphere*, 6(9), 1–12.
- Becerra, S., Paichard, E., Sturma, A., & Maurice, L. (2013). *Vivir con la contaminación petrolera en el Ecuador: Percepciones sociales del riesgo sanitario y capacidad de respuesta*. 23, 102–120.

- Benítez, E., Moreno, B., Paredes, D., González, M., Campos, M., & Rodríguez, E. (2019). Infraestructuras Ecológicas entre invernaderos: Revegetación y calidad de suelos. *Ecosistemas*, 28(3), 54–62.
- Bloemers, G., Hodda, M., Lawton, J., & Wanless, F. (1997). The effects of forest disturbance on diversity of tropical soil nematodes. *Oecologia*, 111, 575–582.
- Bongers, T., & Ferris, H. (1999). Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Tree*, 14(6), 5.
- Borja, M., Aragón-Oseje, J., & Josse, C. (2017). Bosques de la Región Amazónica Ecuatoriana: ¿Qué nos dicen las cifras de deforestación de los últimos 15 años? *CONFigSIG*, 63–76.
- Broeckling, C., Broz, A., Bergelson, J., Manter, D., & Vivanco, J. (2008). Root Exudates Regulate Soil Fungal Community Composition and Diversity. *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*, 74(3), 738–744.
- Cadet, P. (1998). Gestion écologique des nématodes phytoparasites tropicaux. *Cahiers Agricultures*, 7, 187–194.
- Cardoso, M. de O., Pedrosa, E. M. R., & Rolim, M. M. (2012). Effects of soil mechanical resistance on nematode community structure under conventional sugarcane and remaining of Atlantic Forest. *Environ Monit Assess*, 16.
- Cardoso, M., Pedrosa, E., Rolim, M., Oliveira, L., & Santos, A. (2016). Relationship between nematode assemblages and physical properties across land use types. *Trop. Patho vegetal*, 41, 107–114.
- Cerón, F., & Muñoz, O. (2015). *Árboles representativos de Pachijal. Guía práctica de identificación de especies arbóreas del Cánton San Miguel de los Bancos*. EcoFondo.

- Colwell, R., & Coddington, J. (1994). Estimating Terrestrial Biodiversity through Extrapolation. *Biological Sciences*, 345, 101–118.
- Cuvi, N., & Bejarano, M. (2015). *Inhibition halos in the remediation of Amazon soils contaminated with petroleum*. 22.
- De Deyn, G., Raaijmakers, C., Van Ruijven, J., Berendse, F., & Van Der Putten, W. (2004). Plant species identity and diversity effects on different trophic levels of nematodes in the soil food web. *OIKOS*, 106(3), 576–586.
- Eisenhauer, N., Migunova, V., Ackerman, M., Ruess, L., & Stefan, S. (2011). *Changes in Plant Species Richness Induce Functional Shifts in Soil Nematode Communities in Experimental Grassland*. 6(9), e24087.
- Elliot, E. (1997). Rationale for developing bioindicators of soil health. In: Pankhurst, CE; Doube, BM; Gupta, VVSR. Eds. *Biological indicators of soil health*. CAB International. UK., 49–78.
- Espinoza, E. (2018). *Relaciones entre las características edafológicas y las variables dasométricas de tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados por la actividad petrolera*. [Pregrado]. Universidad de las fuerzas armadas ESPE.
- Feinsinger, P. (2002). Designing field studies for biodiversity conservation. *Ecology*, 83(6), 1770–1772.
- Finer, M., Jenkins, C., Pimm, S., Keane, B., & Ross, C. (2008). Oil and Gas Projects in the Western Amazon: Threats to Wilderness, Biodiversity, and Indigenous Peoples. *Plos ONE*, 3(8).
- Fontaine, G., Narváez, I., & Cisneros, P. (2008). *GEO Ecuador 2008 Informe sobre el estado del medio ambiente* (Nº 1; p. 192). FLACSO.

- Forge, T., & Simard, S. (2001). Structure of nematode communities in forest soils of southern British Columbia: Relationships to nitrogen mineralization and effects of clearcut harvesting and fertilization. *Biol Fertil Soils*, 34, 170–178.
- Forrester, D., Kohnle, U., Albrecht, A., & Bauhus, J. (2013). Complementarity in mixed-species stands of *Abies alba* and *Picea abies* varies with climate, site quality and stand density. *Forest Ecology and Management*, 304, 233–242.
- Franco, W., & Álvarez, S. (2019). Investigando en Biodiversidad La Biodiversidad de la Amazonía Ecuatoriana y su relevancia global: ¿Podrán ser detenidos los procesos que conducen a su degradación y extinción? En *Investigación y Desarrollo* (pp. 118–132). AECID.
- Gallegos, V. (2019). *MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMAR CARBONO DE TRES ESPECIES ARBÓREAS PLANTADAS EN ÁREAS AFECTADAS POR LOS PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO EN LA AMAZONIA DEL ECUADOR* [Pregrado]. Universidad de las fuerzas armadas ESPE.
- George, A. (2006). *Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica* [Posgrado]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE.
- Gómez, M., & Toro, J. (2007). *Manejo de las Semillas y la Propagación de Diez Especies Forestales del Bosque Húmedo Tropical*. Corantioquia.
- Gruzdeva, L., & Suschchuk, A. (2010). Trends of nematode community recovery after soil cover degradation. *Biology Bulletin*, 37, 647–652.
- Holdridge, L. (1982). *Ecología basada en zonas de vida* (2ª ed.).

- Huberty, M., Martis, B., Kampen, J., Hae, Y., Vrieling, K., Klinkhamer, P., & Martijn, T. (2019). Soil Inoculation Alters Leaf Metabolic Profiles in Genetically Identical Plants. *Journal of Chemical Ecology*, *46*, 745–755.
- INAMHI. (2016). *Boletín climatológico semestral* (Nº 1). Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- Jasper, E., Melchers, P., & Martijn, T. (2018). Potential for synergy in soil inoculation for nature restoration by mixing inocula from different successional stages. *Plant Soil*, *433*, 147–156.
- Jasper, W., Van Der Putten, W., Bosch, M., & Martijn, T. (2016). Soil inoculation steers restoration of terrestrial ecosystems. *Nature Plants*, *2*, 16107.
- Juteau-Martineau, G., Becerra, S., & Maurice, L. (2014). Environmet, oil and political vulnerability in the Ecuadorian Amazon: Towards new forms of energy governance? *América Latina Hoy*, *67*, 119–137.
- Kennedy, A., & Papendick, R. (1995). Microbial characteristics of soil quality. *Journal of soil and Water Conservation*, *50*(3), 243–248.
- Kulmatiski, A., & Berad, K. (2011). Long-term plant growth legacies overwhelm short-term plant growth effects on soil microbial community structure. *Soil Biology & Biochemistry*, *43*(4), 823–830.
- Li, Y., Xu, M., & Zou, X. (2006). Heterotrophic Soil Respiration in Relation to Environmental Factors and Microbial Biomass in Two Wet Tropical Forests. *Plant Soil*, *281*, 193–201.
- Lipiec, Z., & Glinski, J. (2011). *Encyclopedia of Agrophysics*.
- Liu, C., Xiang, W., Xie, B., Ouyang, S., Zeng, Y., Lei, P., & Peng, C. (2020). Decoupling the Complementarity Effect and the Selection Effect on the Overyielding of Fine Root

- Production Along a Tree Species Richness Gradient in Subtropical Forests. *Ecosystems*, 24(1).
- López, V., Espíndola, F., Calles, J., & Ulloa. (2013). Atlas “Amazonía Ecuatoriana Bajo Presión”. *EcoCiencia*.
- López-Mejía, M., Moreno, C., Zuria, I., Sánchez-Rojas, G., & Rojas-Martínez, A. (2017). Comparación de dos métodos para analizar la proporción de riqueza de especies entre comunidades: Un ejemplo con murciélagos de selvas y hábitats modificados. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 183–191.
- Ma, H., Pineda, A., van der Wurff, A., & Martijn, T. (2018). Carry-over effects of soil inoculation on plant growth and health under sequential exposure to soil-borne diseases. *Plant Soil*, 433, 257–270.
- Marbán, N. (1990). *Fitonematología Práctica, Ejercicios de Laboratorio*.
- Matveeva, E., & Sushchuk, A. (2016). Features of soil nematode communities in various types of natural biocenoses: Effectiveness of assessment parameters. *Biology Bulletin*, 43(5), 474–482.
- McQueen, P., & Treonis, A. (2019). Cacao agroforestry in Belize: Effects on soil nematode community structure. *Agroforestry Systems*, 94, 1123–1132.
- Melo, E. (2011). *Biodiversidad de nemátodos en suelos de ambientes cultivados, ecotono y bosque prístino y su potencial para controlar chisas (Coleoptera: Melolonthidae)* [Posgrado]. Universidad de las fuerzas armadas ESPE.
- Millán, E., Castilla, E., & Millán, C. (2016). Comunidades de nematodos de vida libre del suelo y su correspondencia con la calidad. *Revista Ingeniería y Región*, 16(2), 25–34.

- Morales, N. (2011). *¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos. Propuesta Metodológica* [Posgrado]. Universidad Nacional de Colombia.
- Moreno, B., Nogales, R., Macci, C., Masciandaro, G., & Benitez, E. (2011). Microbial eco-physiological profiles to estimate the biological restoration of a trichloroethylene-contaminated soil. *Ecological Indicators*, *11*, 1563–1571.
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad* (1ª ed., Vol. 1). CYTED, ORCYT/UNESCO & SEA.
- Moreno, C., & Halffter, G. (2000). Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology*, *37*, 149–158.
- Nielsen, U., Ayres, E., Wall, D., Li, G., Bardgett, R., Wu, T., & Garey, J. (2014). Global-scale patterns of assemblage structure of soil nematodes in relation to climate and ecosystem properties. *Global Ecology and Biogeography*, *23*, 968–978.
- Noguera-urbano, E. (2016). Areas of endemism: Travelling through space and the unexplored dimension. *Systematics and Biodiversity*, *14*(2), 131–139.
- Noreika, N., Pärtel, M., & Öckinger, E. (2020). Community completeness as a measure of restoration success: Multiple-study comparisons across ecosystems and ecological groups. *Biodiversity and Conservation*, *29*, 3807–3827.
- Otero, M., Torres, N., Plaza, G., & Pérez, C. (2002). NEMATODOS BACTERIÓFAGOS COMO BIOINDICADORES Y COMO ORGANISMOS ASOCIADOS A LOS PROCESOS DE BIORREMEDIACION. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, *6*(1), 75–79.
- Palmer, M. (1990). THE ESTIMATION OF SPECIES RICHNESS BY EXTRAPOLATION. *Ecology*, *71*(3), 1195–1198.

- Pant, P., & Pant, P. (2017). Ecological Restoration Techniques for Management of Degraded, Mined-Out Areas and the Role Played by Rhizospheric Microbial Communities. *Green Technologies and Environmental*, 437–453.
- Paredes, X. (2019). *Efecto estacional de la diversidad de Scarabaeinae en ecosistemas afectados por actividades petroleras en Sucumbíos y Orellana*. [Pregrado]. Universidad de las fuerzas armadas ESPE.
- Pärtel, M., Svaza-Kovats, R., & Zobel, M. (2013). Community Completeness: Linking Local and Dark Diversity within the Species Pool Concept. *Folia Geobot*, 48, 307–317.
- Petroamazonas. (2015). *Proyecto Amazonía Viva*. <http://www.petroamazonas.gob.ec/?p=7895>
- Petroamazonas EP. (2018). *Memoria de Gestión 2018—Proyecto Amazonía Viva*.
- Porazinska, D., Giblin, R., & Esquivel, A. (2010). Ecometagenetics confirms high tropical rainforest nematode diversity. *Molecular Ecology*, 19, 5521–5530.
- Porazinska, D., Giblin, R., Powers, T., & Kelley, W. (2012). Nematode Spatial and Ecological Patterns from Tropical and Temperate Rainforests. *Plos ONE*, 7(9), e44641.
- Porras, C. (2006). *Efecto de los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional sobre las características de suelos en el corredor biológico Turrialba-Jiménez, Costa Rica* [Posgrado]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE.
- Qing, X., & Bert, W. (2019). Family Tylenchidae (Nematoda): An overview and perspectives. *Organisms Diversity & Evolution*, 19, 391–408.
- Quiloango, C. (2019). *Diversidad de coleópteros Scarabaeidae, Scarabaeidae de áreas rehabilitadas en suelos agrícolas y ecosistemas sensibles a procesos de extracción petrolera en la Amazonía Ecuatoriana* [Pregrado]. Universidad de las fuerzas armadas ESPE.

- Quinsasamín, J. (2019). *Diversidad de hongos rizosféricos de tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados por la actividad petrolera de la Amazonía Ecuatoriana* [Pregrado]. Universidad de las fuerzas armadas ESPE.
- Radwan, S., Al-Awadhi, H., Sorkhoh, N., & El-Nemr, I. (1998). Rhizospheric hydrocarbon-utilizing microorganisms as potential contributors to phytoremediation for the oily Kuwaiti desert. *Microbiological Research*, *153*, 247–251.
- Riesco, A. (2012). *Proyecto de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos* [Pregrado]. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Shao, Y., Zhang, W., Liu, Z., Sun, Y., Chen, D., Wu, J., Zhou, L., Xia, H., Neher, D., & Fu, S. (2012). Responses of soil microbial and nematode communities to aluminum toxicity in vegetated oil-shale-waste lands. *Ecotoxicology*, *21*, 2132–2142.
- Smythe, A., Holovachov, O., & Kocot, K. (2019). Improved phylogenomic sampling of free-living nematodes enhances resolution of higher-level nematode phylogeny. *BMC Evolutionary Biology*, *19*(121).
- Sosa, V. (2018). *Diversidad de hongos presentes en raíces de tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados por la actividad petrolera en la Amazonía Ecuatoriana* [Pregrado]. Universidad de las fuerzas armadas ESPE.
- Steudel, B., Hector, A., Friedl, T., Lofke, C., Lorenz, M., Wesche, M., Kessler, M., & Gessner, M. (2012). Biodiversity effects on ecosystem functioning change along environmental stress gradients. *Ecology Letters*, *16*(4), 1397–1405.
- Tovar, C. (2011). *EFEECTO DE LA MODIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL SUELO SOBRE LA DENSIDAD Y RIQUEZA DE GRUPOS FUNCIONALES DE NEMATODOS EN BOSQUE*

ALTOANDINO (CUENCA RÍO BLANCO, CUNDINAMARCA) [Pregrado]. Pontificia Universidad Javeriana.

UICN. (2015). *Informe Anual UICN*.

Urrutia, M., Delucis, M., Altamirano, P., Chaves, H., Ferrando, N., Jauregui, A., Maly, L., & Pifano, M. (2020). *Cálculo estadístico y biometría. Guía uso Infostat*.

Van der Wal, A., Van Veen, J., Smant, W., Boschker, H., Bloem, J., Kardol, P., Van Der Putten, W., & Boer, W. (2006). Fungal biomass development in a chronosequence of land abandonment. *Soil Biology & Biochemistry*, 38(1), 51–60.

Varela, I. (2013). Las comunidades de nematodos como indicadores ambientales. *Tecnología en Marcha, Numero Especial*, 30–37.

Vera, D. (2017). *Biodiversidad intraespecífica varietal para mejorar ambientes degradados por monocultivos en Musáceas, como medida de control de plagas y enfermedades* [Doctorado]. Universidad Autónoma de Barcelona.

Villacis, J. (2016). *Evaluación de las técnicas de remediación vegetal utilizadas en plataformas petroleras mediante estudios del desempeño de especies y análisis de diversidad funcional*. Universidad Nacional de Córdoba.

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 & Development.*, 27, 1771–1780.

Vogliano, S. (2009). *ECUADOR-Extracción petrolera en la Amazonia* (Nº 22). Proyecto Cultura y Ambiente, Cip ecosocial.

Xiao, H., Wang, W., Xia, S., Li, Z., Gan, J., & Yang, X. (2020). Distributional patterns of soil nematodes in relation to environmental variables in forest ecosystems. *Soil Ecology Letters*.

Zeppilli, D., Sarrazin, J., Leduc, D., & Martinez, P. (2015). Is the meiofauna a good indicator for climate change and anthropogenic impacts? *Marine Biodiversity*, 45, 505–535.