



Evaluación de la macrofauna del suelo en palma africana en las zonas de Santo Domingo y Esmeraldas

Choca Daquilema, Edison Javier y Vega Roldán, Jonathan Leonel

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniería Agropecuaria

Ing. Patiño Cabrera, Marcelo de Jesús Mgs.

19 de agosto del 2021

Urkund Analysis Result

Analysed Document: Evaluación de la macrofauna del suelo en palma africana en las zonas de Santo Domingo y Esmeraldas .docx (D111194316)
Submitted: 8/12/2021 5:30:00 AM
Submitted By: ejchoca@espe.edu.ec
Significance: 3 %

Sources included in the report:

Macrofauna_Plátano_Urkund.docx (D111193374)
Informe titulación macrofauna del suelo Daniela Núñez.docx (D52237257)
MARTHA CORTES CABEZAS Y SOLANYE MANCILLA CASTRO (1) (1) (1).docx (D89729959)
Macrofauna edafica.docx (D104746107)
<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19118/1/Impacto%20de%20las%20quemadas%20en%20ca%C3%B1ales%20sobre%20la%20presencia%20o%20ausencia%20de%20los%20macroinvertebrados%20del%20suel.pdf>
<https://repositorio.una.edu.ni/3673/1/tnp34a189.pdf>
<http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/4098/1/Macrofauna%20ed%C3%A1fica%20como%20bioindicador%20de%20impacto%20del%20uso%20y%20calidad%20del%20suelo%20en%20el%20occidente%20de%20Cuba%20.pdf>
https://www.researchgate.net/publication/26504394_Diversidad_y_rol_funcional_de_la_macrofauna_edafica_en_los_ecosistemas_tropicales_mexicanos
<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v64n1/a05v64n01.pdf>

Instances where selected sources appear:

16



Ing. Patiño Cabrera Marcelo de Jesús Mgs.

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICADO DEL DIRECTOR

Certifico que el trabajo de titulación, **“EVALUACIÓN DE LA MACROFAUNA DEL SUELO EN PALMA AFRICANA EN LAS ZONAS DE SANTO DOMINGO Y ESMERALDAS”** fue realizado por los señores **Choca Daquilema Edison Javier** y **Vega Roldan Jonathan Leonel** 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 y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 19 de agosto del 2021

Firma:



Verificado electrónicamente por:
MARCELO DE JESUS
PATINO CABRERA

Ing. Patiño Cabrera Marcelo de Jesús Mgs.

C. C.: 1708421605



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Choca Daquilema Edison Javier** y **Vega Roldan Jonathan Leonel**, con cédulas de ciudadanía N° **2350636482** y **2300694060**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DE LA MACROFAUNA DEL SUELO EN PALMA AFRICANA EN LAS ZONAS DE SANTO DOMINGO Y ESMERALDAS”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 19 de agosto del 2021

Firmas:


Choca Daquilema Edison Javier
C.C.: 2350636482


Vega Roldan Jonathan Leonel
C.C.: 2300694060



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Choca Daquilema Edison Javier** y **Vega Roldan Jonathan Leonel**, con cédulas de ciudadanía N° **2350636482** y **2300694060** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DE LA MACROFAUNA DEL SUELO EN PALMA AFRICANA EN LAS ZONAS DE SANTO DOMINGO Y ESMERALDAS”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 19 de agosto del 2021

Firmas:


Choca Daquilema Edison Javier
C.C.: 2350636482


Vega Roldan Jonathan Leonel
C.C.: 2300694060

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a Dios por haberme brindado la sabiduría, inteligencia y salud en todo momento de mi vida.

A mis padres, por enseñarme los valores y principios que me han servido para mi formación.

A mis Hermanos, por brindarme sus consejos y apoyo incondicional en todos estos años.

Edison J. Choca D.

DEDICATORIA

Este logro va dedicado a Dios por haberme brindado la salud y valentía para superar cada obstáculo en mi vida académica y personal.

A mis padres, Estuardo y Dolores por su amor, paciencia y esfuerzo en todos estos años y por ser las personas que me han formado para ser una persona de bien.

A mis hermanos y familiares por su apoyo y confianza en lograr esta meta universitaria.

A mis amigos y compañeros por su confianza, apoyo y compañía durante mi trayectoria académica.

Jonathan L. Vega R.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarme en toda esta etapa de formación y permitirme culminar este objetivo personal.

A mi familia por ayudarme día a día en cada actividad realizada para la culminación de esta etapa.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Santo Domingo, a la Carrera de Ingeniería Agropecuaria y todo su personal docente y administrativo por sus conocimientos y experiencias impartidas.

A nuestro director de tesis el Ing. Marcelo Patiño por guiarnos con su conocimiento y profesionalismo en la realización de esta investigación.

A mis compañeros, por su amistad, apoyo moral, humano y su ayuda para poder realizar esta investigación.

Agradezco a todas las personas con quien he compartido experiencias y han contribuido a mi formación académica.

Edison J. Choca D.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecirme y guiarme en mi camino y por permitirme concluir con este objetivo.

A mis padres y hermanos por haberme brindado su apoyo incondicional.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Santo Domingo, a la Carrera de Ingeniería Agropecuaria y todo su personal docente y administrativo por sus conocimientos y experiencias impartidas.

A nuestro director de tesis el Ing. Marcelo Patiño por guiarnos con su conocimiento y profesionalismo en la realización de esta investigación.

A mis compañeros y amigos Javier Choca, Angie Zambrano y Armando Llanos, por su amistad, apoyo moral, humano y su ayuda para poder realizar esta investigación.

A mis amigos Steveen, Edison, Carito y Daniela por brindarme su ayuda y amistad a lo largo de mi formación cuando más lo necesité.

A los Sres. Pauta Franklin, Solórzano Samuel y Gutiérrez René por su generosa disposición de sus propiedades para realizar los muestreos.

Agradezco a todas las personas con quien he compartido experiencias y han contribuido a mi formación académica.

Jonathan L. Vega R.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Análisis Urkund	2
Certificado del Director	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos.....	8
Índice de Contenido.....	10
Índice de Tablas	14
Índice de Figuras.....	15
Resumen.....	16
Abstract.....	17
Capítulo I.....	18
Introducción.....	18
Objetivos	20
Objetivo general.....	20
Objetivos específicos	20

	11
Capítulo II.....	21
Marco Teórico	21
Antecedentes	21
Macrofauna del cultivo de palma.....	21
Manejo de los suelos en los cultivos de palma.....	23
Fundamentaciones	24
Fauna edáfica	24
Sistemas de clasificación de la fauna edáfica	24
Según la persistencia en el suelo	25
Según la adaptabilidad y preferencia al suelo	25
Según el tamaño del cuerpo.....	25
Según el régimen alimenticio.....	26
Macrofauna del suelo.....	26
Características	27
Clasificación funcional.....	27
Micropredadores.....	27
Transformadores de hojarasca	27
Ingenieros del ecosistema	27
Efectos físicos sobre suelo.....	28
Efectos químicos directo e indirectos	28
Efectos biológicos	29

	12
La macrofauna del suelo como bioindicador	29
Diversidad biológica	30
Índice de biodiversidad	31
Índice de Shannon	31
Capítulo III	32
Metodología	32
Ubicación del área de investigación	32
Ubicación Política	32
Ubicación geográfica	32
Caracterización de los puntos de muestreo	33
Materiales.....	33
Materiales de campo.....	33
Materiales de oficina	34
Equipos.....	34
Insumos	34
Métodos	34
Tipo de investigación	34
Diseño de la investigación	34
Variables evaluadas.....	35
Clasificación de los componentes biológicos	35
Biomasa	35

	13
Densidad poblacional	35
Índice de diversidad.....	35
Manejo de la investigación	36
Sitios de estudio	36
Muestreo	37
Capítulo IV	38
Resultados y Discusión	38
Composición de la comunidad de macrofauna	38
Biomasa de la macrofauna	42
Densidad poblacional de la macrofauna	44
Índices de diversidad.....	46
Índice de diversidad de Shannon-Weinner.....	46
Índice de similitud de Jaccard	48
Capítulo V	49
Conclusiones.....	49
Recomendaciones.....	51
Capítulo VI	52
Bibliografía	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Caracterización de los puntos de muestreo	33
Tabla 2 Composición y abundancia de la comunidad de macrofauna del suelo de palma en dos localidades	38
Tabla 3 Distribución de los grupos taxonómicos por profundidad de muestreo.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica de la investigación	32
Figura 2 Esquema del muestreo por el método TSBF	37
Figura 3 Curva de abundancia de familias de macroinvertebrados en Esmeraldas .	39
Figura 4 Curva de abundancia de familias de macroinvertebrados en Santo Domingo	41
Figura 5 Biomasa de la macrofauna edáfica encontrada por profundidad de muestreo en las dos localidades.	42
Figura 6 Densidad poblacional de la macrofauna del suelo de palma	44
Figura 7 Índice de diversidad de Shannon Weinner para la macrofauna en dos localidades.....	46
Figura 8 Índice de similitud en la composición de familias de la macrofauna por estrato	48

RESUMEN

La macrofauna edáfica comprende a los macroinvertebrados mayores a 2 mm de longitud, cuyo rol es mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, mediante la formación de macroporos, el intercambio gaseoso, descomposición de la MO, movimiento y retención del agua, beneficiando así el desarrollo de las plantas. Debido a la gran importancia de estos organismos, el objetivo de este estudio fue evaluar la macrofauna del suelo en palma africana en las zonas de Santo Domingo y Esmeraldas. Se utilizó la metodología de TSBF, con 3 fincas por localidad y 5 muestreos por finca, cada monolito tenía una dimensión de 25 cm x 25 cm x 30 cm y se extrajo los macroinvertebrados de los cuatro estratos comprendidos por hojarasca, 0 a 10 cm, 10 a 20 cm y 20 a 30 cm de profundidad, para su posterior traslado al laboratorio de UFA-ESPE para la identificación, cuantificación y registro de peso. La mayor densidad absoluta de individuos y biomasa fueron encontrados en la localidad de Esmeraldas con 6160 ind/m² y 1,023 g/m² respectivamente. La riqueza taxonómica en las fincas de Esmeraldas fue de 23 familias, de las cuales predominaron las familias Lumbricidae y Julidae con una abundancia absoluta de 2144 y 1104 ind/m² respectivamente y 20 familias en la zona de Santo Domingo prevaleciendo las familias Formicidae y Lumbricidae con una abundancia absoluta de 2288 y 880 ind/m². Se determinó que la biomasa decrece en sus valores a medida que incrementa la profundidad del suelo registrando los valores más altos a la profundidad de 0 a 10 cm con 32,9 g/m² en Esmeraldas y 13,77 g/m² en Santo Domingo, encontrando que la hojarasca y los primeros 10 cm de suelo comparten el 75% de familias de macroinvertebrados. El índice de diversidad fue mayor en las fincas de Esmeraldas (2,26) a diferencia de las de Santo Domingo (1,95). Las comunidades de macroinvertebrados que predominaron en los suelos de palma fueron las familias Lumbricidae, Formicidae, Termitidae y Julidae, catalogados como ingenieros del ecosistema y transformadores de la hojarasca.

Palabras clave:

- **MACROFAUNA EDÁFICA**
- **PALMA ACEITERA**
- **BIOMASA**
- **ABUNDANCIA**
- **RIQUEZA TAXONÓMICA**

ABSTRACT

Edaphic macrofauna includes macroinvertebrates larger than 2 mm in length. The role of the macrofauna is to improve the physical and chemical properties of the soil, through the formation of macropores, gas exchange, decomposition of OM, movement, and retention of water, thus benefiting plant development. Due to the great importance of these organisms, the general objective of this study was to evaluate the soil macrofauna of African palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in the areas of Santo Domingo and Esmeraldas. The TSBF methodology was used, with 3 farms per locality and 5 samplings per farm. Each monolith had a dimension of 25 cm x 25 cm x 30 cm, and the organisms were extracted from four strata comprised of leaf litter, 0-10cm, 10-20cm, and 20-30cm deep, which were taken to the UFA-ESPE laboratory for identification, quantification and weight recording. The highest absolute density of individuals and biomass were found in the Esmeraldas locality with 6160 ind/m² and 1,023 g/m² respectively. The taxonomic richness in the farms of Esmeraldas was 23 families, of which the families Lumbricidae and Julidae predominated with an absolute abundance of 2144 and 1104 ind/m² respectively, and 20 families in the area of Santo Domingo, of which the families Formicidae and Lumbricidae prevailed with an absolute abundance of 2288 and 880 ind/m². It was determined that biomass decreases in its values as soil depth increases, registering the highest values at the depth of 0 to 10 cm with 32.9 g/m² in Esmeraldas and 13.77 g/m² in Santo Domingo, finding that leaf litter and the first 10 cm of soil share 75% of macroinvertebrate families. The diversity index was higher in the farms of Esmeraldas (2.26) as opposed to Santo Domingo (1.95). The macroinvertebrate communities that predominated in the palm soils were the families Lumbricidae, Formicidae, Termitidae and Julidae, catalogued as ecosystem engineers and leaf litter transformers.

Key words:

- **EDAPHIC MACROFAUNA**
- **OIL PALM**
- **BIOMASS**
- **ABUNDANCE**
- **TAXONOMIC RICHNESS**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La fauna edáfica comprende una gran variedad de formas de vida y estrategias de adaptación. Entre las tres categorías de tamaño que es posible describir a los invertebrados del suelo, la macrofauna, que incluye aquellos organismos de más de 2 mm de diámetro, es la más importante, debido a que posee el mayor potencial para modificar el medio ambiente edáfico a través de la creación de macroporos, transformación y redistribución de materia orgánica, fragmentación del material vegetal muerto y trituración de restos vegetales, procesos importantes en los agroecosistemas donde se incorporan los restos vegetales de alta relación carbono nitrógeno (C:N) como son los cultivos de cereales, pastos, caña de azúcar, banano, palma aceitera, entre otros (USDA, 2011; Stechauner & Mandriñán, 2013). Es así como los grupos de macroinvertebrados frecuentemente son utilizados como indicadores de la calidad biológica y de la biodiversidad edáfica que influyen de manera notable en las propiedades físicas y químicas de los suelos cultivados y no cultivados favoreciendo la fertilidad y productividad de los sistemas (Moreira et al., 2012).

La mayoría de las prácticas de manejo de los suelos desfavorecen la actividad de los macroinvertebrados edáficos, debido a que este grupo es muy sensible a los cambios de temperatura y humedad del suelo por la variación de la cobertura del mismo (Ruiz et al., 2008). El cultivo de palma africana es uno de los rubros agrícolas industrializados e importantes del Ecuador, ya que a nivel nacional existen alrededor de 200 908 hectáreas de palma en producción, siendo Esmeraldas la principal provincia productora con 779 245 toneladas (t), seguida de Los Ríos (579 695 t), Guayas (163 157 t) y Santo Domingo (144 105 t) (INEC, 2019). Los cultivos de palma en el país se manejan con coberturas vegetales para el control plagas, se redistribuyen los restos de las podas y residuos de cosechas en las calles para ser aprovechadas como cobertura y para el reciclaje de nutrientes tras su descomposición (Ganchozo & Huaraca, 2017; Khalid, et al, 2010).

A pesar de que han surgido nuevos materiales de palmas híbridos tolerantes a las enfermedades comunes que sufre el cultivo, es uno de los sectores donde se utiliza indiscriminadamente una gran cantidad de productos químicos como fertilizantes edáficos, fungicidas e insecticidas de alto rango toxicológico para el control de varios insectos plagas, y que dichos productos tienen una residualidad en el suelo causando un impacto negativo hacia las diferentes comunidades de macroinvertebrados edáficos. Así mismo, las labores de cosecha con animales de carga o a su vez con el establecimiento de sistemas silvopastoriles pueden provocar la compactación del suelo, disminuyendo la porosidad del mismo, la capacidad de drenaje y la respiración de las raíces, al igual que la biota edáfica, que a largo plazo puede significar la degradación parcial o completa del suelo y los ecosistemas que conlleva (Arlen et al., 2019).

Con base en lo anterior, esta investigación aporta con conocimientos sobre la cuantificación de la diversidad y densidad poblacional de macroinvertebrados edáficos que habitan en los diferentes sistemas de producción del cultivo de palma y determina la diferencia existente entre la macrofauna de los sistemas de producción de palma de la zona de Esmeraldas con la zona de Santo Domingo, con el fin de brindar conocimientos relevantes para el sector palmero relacionados a la biodiversidad de los suelos cultivados con palma.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la macrofauna del suelo en palma africana en las zonas de Santo Domingo y Esmeraldas.

Objetivos específicos

- Determinar la biomasa y abundancia de la macrofauna de los suelos obtenidos de los cultivos de palma en las dos localidades.
- Realizar la clasificación de los componentes biológicos de acuerdo a sus unidades taxonómicas.
- Estimar los índices de biodiversidad con relación a la macrofauna obtenidas de los suelos pertenecientes al cultivo de palma.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Antecedentes

Se han realizado estudios acerca de la influencia del establecimiento, manejo y los tipos de agroecosistemas sobre la población, dinámica y diversidad de las comunidades de invertebrados del suelo en varios ecosistemas, aún más en las regiones donde el establecimiento de sistemas de pastoreo, forestales o la producción de ciertos cultivos agrícolas es a gran escala y tienen un impacto (muchas veces negativo) sobre los organismos dentro del ecosistema que forman, tal es caso de la palma africana, cultivo que representa una gran área de extensión, llegando a existir aproximadamente 15 millones de hectáreas a nivel mundial (Arlen et al., 2019; Stechauner & Mandriñán, 2013).

Macrofauna del cultivo de palma

Originario del continente Africano, el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) dentro de los últimos 80 años se ha ido expandiendo a gran escala, llegando a ser establecido en los trópicos húmedos de Asia Sur Oriental y de América del Sur (Raygada, 2005) en países como Indonesia, Malasia, Tailandia, Colombia, Nigeria, Guatemala, Honduras, Ecuador y Brasil, siendo estas naciones las principales productoras de aceite de palma en ese orden (Mena, 2020).

El estudio de Potapov et al., (2019) en la región de Jambi, una provincia de Indonesia, que representa el 8% de las plantaciones de palma aceitera de esta nación, muestra la influencia que tienen los tipos de sistemas agrícolas (selva tropical, caucho selvático, plantación de caucho y plantación de palma aceitera) sobre las comunidades de invertebrados del suelo y los espectros de tamaño entre depredadores y descomponedores, demostrando que la abundancia de los macroinvertebrados del suelo de diferentes tamaños podría variar mucho entre los diferentes tipos de bosques o agroecosistemas.

En países como Colombia y Perú existen algunos trabajos acerca del impacto que genera el cultivo de palma africana sobre algunos vertebrados como mamíferos, aves, algunos reptiles y anfibios e invertebrados como hormigas, abejas y escarabajos, asegurando que los cultivos agrícolas poseen menor diversidad edáfica que los bosques y reservas, lo que significa la existencia de una red trófica menos compleja (Pardo & Ocampo, 2019; Pashanasi, 2001).

A pesar de que los estudios sobre la biodiversidad y macrofauna edáfica de la palma aceitera son escasos en el Ecuador, se han podido observar el desarrollo de algunas investigaciones sobre el índice de biodiversidad de la macrofauna de los suelos en otros cultivos tropicales. El estudio de Anchundia (2015) contempla la diferencia de diversidad y población de entre las zonas de La Maná y el Carmen, asociada con dos tipos de sistemas de producción de plátano y banano: monocultivo y cultivos asociados, siendo este último donde existe mayor diversidad y población de macroinvertebrados. Así mismo Vera et al., (2018) en su estudio detalla la importancia que tiene la asociación de cultivos, específicamente los sistemas silvopastoriles en la Amazonía para el desarrollo poblacional de la macrofauna terrestre.

A nivel local, el trabajo realizado por Patiño et al., (2017) contempla la influencia que tienen las fuentes de fertilizantes sobre el rendimiento de la fruta en cultivares de banano y la evolución de la macrofauna edáfica, asegurando que las fuentes de fertilizantes no influyen en la población y biomasa de la macrofauna del suelo, pero la cantidad de macroinvertebrados del grupo Oligochaetas sí influye en la producción de la fruta. Estos trabajos tienden a ser más relevantes en los últimos años y sirven como línea base en la postura del desarrollo de técnicas de producción agrícola amigable con todos los componentes y organismos del ecosistema.

Manejo de los suelos en los cultivos de palma

La implementación de algunas prácticas agrícolas tiene un impacto importante sobre las propiedades físico-químicas del suelo y el mantenimiento de los procesos del mismo. Por lo general se producen cambios dramáticos y rápidos en la vegetación que afectan significativamente a las comunidades de invertebrados del suelo (Ruiz, et al., 2008). Dentro de las labores agrícolas que modifican las propiedades del suelo y por ende limitan la diversidad y composición de la macrofauna edáfica se encuentran: la preparación intensiva mecanizada del suelo o sistemas de labranza, transformación de zonas forestales a pasturas, eliminación de la cobertura del suelo (hojarasca, sotobosque, etc.), establecimiento de sistemas silvopastoriles, la adición de fertilizantes edáficos y productos químicos (Chávez, et al., 2020).

Los efectos de las labores culturales donde está inmerso el suelo (directa o indirectamente), como el control de malezas, en el cultivo de palma se han investigado recientemente (Luke et al., 2019). Las prácticas de deshierbe limpio en la palma (sin dejar cobertura vegetal) pueden compactar el suelo y reducir su porosidad, mientras que un deshierbe moderado puede mantener la cobertura vegetal, lo que protege el suelo contra la erosión. Por otro lado, la fumigación con herbicidas es más eficaz para erradicar la vegetación del sotobosque porque las partes de las plantas subterráneas también mueren (Rochmyaningsih, 2019).

Por lo general, los métodos de control manual y con herbicidas se utilizan en las fincas de las empresas de palma aceitera, ya que la fumigación con herbicidas no es posible cuando llueve y es necesario el deshierbe mecánico para eliminar la invasión de plantas leñosas (Darras, et al., 2019). En los estudios de Rochmyaningsih (2019) y Teuscher et al., (2016) señalan que con insumos menos intensivos (es decir, sin aplicación de fertilizantes, pesticidas o herbicidas) para el manejo del cultivo de palma mejoró la condición del suelo y aumentó la diversidad de la macrofauna, como las tijeretas (Dermaptera) y los milpiés (Diplopoda), que descomponen la hojarasca. Sin embargo, se han observado investigaciones donde la densidad de vegetación del sotobosque en palma es indirectamente proporcional al rendimiento de la fruta (Ashton-Butt et al., 2018).

Fundamentaciones

Fauna edáfica

Dokuchaev (1899) señala que el suelo está formado a partir de los horizontes superficiales o externos de las rocas, que fueron modificados de manera natural mediante la acción conjunta del agua, el aire y las distintas clases de organismos vivos y muertos. Dentro de este concepto antiguo se destaca el rol de los organismos que forman la biota edáfica. La fauna edáfica constituye el 10 % de esta biota, y comprende aquellos organismos que pasan toda o una parte de su vida en el interior del suelo, sobre la superficie inmediata de éste, en la hojarasca superficial, en los troncos caídos en descomposición y en otros ambientes anexos denominados suelos suspendidos. Los invertebrados habitantes del suelo (caracoles, larvas, arañas, grillos, lombrices, hormigas, etc.) pueden componer más de un millón de especies en un mismo ecosistema y a su vez podrían superar densidades de más de un millón de individuos. La biomasa que estos organismos pueden alcanzar es aproximadamente de una tonelada/hectárea (Brown et al., 2001).

Sistemas de clasificación de la fauna edáfica

No existe un sistema de clasificación único porque los criterios utilizados para clasificar los organismos del suelo y el grado de subdivisión aplicado son uno de los problemas que se plantean en el área de la ecología edáfica. Sin embargo, Palacios et al., (2014) señalan que la fauna del suelo se puede clasificar según los siguientes criterios: persistencia en el suelo, adaptabilidad y preferencia al suelo, tamaño del cuerpo y régimen alimenticio. Otros aspectos que se toman en cuenta según Christiansen (1964) son los morfológicos, la movilidad en las diferentes capas del suelo, la sensibilidad química y mecánica, sensibilidad a la luz, resistencia a la humedad y a la desecación.

Según la persistencia en el suelo

El primer eslabón corresponde a los geobiontes o fauna permanente, quienes pasan todo su ciclo biológico dentro del suelo, tal es el caso de la mayoría de la microfauna. Los periódicos u ocasionales se caracterizan porque únicamente el adulto sale del suelo para reproducirse, por ejemplo, los de la familia Tetranychidae. Por último, los geófilos o temporales quienes pasan sólo una parte de su ciclo de vida en el suelo, como los holometábolos. Finalmente, los transitorios son especies que usan el suelo para hibernar, pero toda su vida habitan en los suelos suspendidos (follaje, hojarasca, troncos en descomposición).

Según la adaptabilidad y preferencia al suelo

La mayoría de las especies son capaces de habitar dentro del suelo superficial (0 a 20 cm de profundidad) mientras que otras alcanzan partes más profundas (hasta los 80 cm o más de profundidad). Los epiedáficos son los organismos que habitan en la superficie del suelo y la hojarasca, tal es el caso de los invertebrados de las familias Entomobryidae y Sminthuridae. Seguidamente los hemiedáficos, que viven en el suelo orgánico un claro ejemplo son los Hypogastruridae. Los organismos Euedáficos se encuentran en los suelos minerales, tal es el caso de los Tullbergiidae. Los Troglomorfas son organismos que se encuentran en las cuevas, no poseen pigmento ni ojos, por ejemplo, los Pseudosinella. Por último, los Sinecomorfas quienes se encuentran en los nidos de insectos sociales, como los hormigueros y termiteros, es el caso de Cyphoderidae.

Según el tamaño del cuerpo

En primer lugar se encuentra la microfauna, que son los organismos cuyo tamaño corporal está entre 20 μm y 200 μm . Solo un grupo, los protozoos, se encuentra completamente dentro de esta categoría; entre otros, pequeños ácaros, nematodos, rotíferos, tardígrados y crustáceos copépodos se encuentran dentro del límite superior.

La mesofauna que son los organismos cuyo tamaño corporal está entre 200 μm y 2 mm. Los microartrópodos como ácaros y colémbolos son los principales representantes de este grupo, que también incluye nematodos, rotíferos, tardígrados, pequeños araneidos, pseudoescorpiones, opiliones, enquitreidos, larvas de insectos, pequeños isópodos y miriápodos.

La macrofauna corresponde a los invertebrados cuyo tamaño oscila entre 2 mm y 20 mm. Esta categoría incluye ciertas lombrices de tierra, gasterópodos, isópodos, miriápodos, algunos araneidae, coleópteros, larvas de dípteros y la mayoría de los insectos.

La megafauna conforman los organismos cuyo tamaño supera los 20 mm. Los miembros de esta categoría incluyen invertebrados de gran tamaño (lombrices de tierra, caracoles, miriápodos) y vertebrados (insectívoros, pequeños roedores, reptiles y anfibios).

Según el régimen alimenticio

Se encuentran aquellos organismos que consumen los restos o tejidos vegetales en descomposición, por ejemplo las hojas o raíces, a estos se los denominan macrofitófagos. Aquellos que se alimentan de la microflora viva, como son los hongos o algas, se los denomina Microfitófagos. Los depredadores por lo general consumen otros organismos o animales vivos. Aquellos que consumen carroña se los denomina necrófagos y los que se alimentan de la materia fecal de otros organismos se los conoce como coprófagos.

Macrofauna del suelo

Se conoce como macrofauna edáfica a la gran variedad de invertebrados visibles a simple vista, que habitan dentro del suelo o inmediatamente sobre él (hojarasca). La biomasa que estos organismos pueden alcanzar es aproximadamente de una tonelada por hectárea. La macrofauna cumple múltiples funciones en el ecosistema, son las responsables de la descomposición de MO, porosidad y aireación del suelo, entre otras funciones biológicas en los ecosistemas (Brown et al., 2001).

Características

Con su actividad crean estructuras físicas biogénicas que ejercen un efecto regulador sobre los organismos menores a través de la competencia por los recursos, principalmente materia orgánica, su influencia en el ciclo del carbono y la disponibilidad de nutrientes, y cambios en la actividad rizosférica, como el crecimiento de raíces y de poblaciones de organismos rizosféricos (Anchundia, 2015).

Clasificación funcional

Las funciones que llevan a cabo los organismos del suelo en la categoría de macrofauna dependen en gran medida de la eficiencia de sus sistemas digestivos (que a su vez dependen de sus interacciones con los microorganismos del suelo, por ejemplo, las bacterias) y de la presencia y abundancia de las estructuras biológicas que producen en el suelo (Ruiz et al., 2008). Usando estos dos criterios, Lavelle (1997) señala que se pueden distinguir tres grandes grupos funcionales de invertebrados: micropredadores, transformadores de basura e ingenieros de ecosistemas

Micropredadores. Contiene a los invertebrados, protozoos y nematodos más pequeños. No producen estructuras órgano-minerales y su principal efecto es estimular la mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS) (Lavelle P. , 1997).

Transformadores de hojarasca. La mesofauna y algunos organismos de la macrofauna participan en la descomposición de la hojarasca. Cuando estos invertebrados vuelven a ingerir sus excreciones, que sirven como incubadoras de bacterias, asimilan metabolitos liberados por acciones microbianas (Lavelle P. , 1997).

Ingenieros del ecosistema. Producen estructuras físicas a través de las cuales pueden modificar la disponibilidad o accesibilidad de un recurso para otros organismos. Solo una pequeña cantidad de macroinvertebrados (lombrices de tierra, termitas y hormigas) se distinguen por su capacidad para excavar el suelo y producir una amplia variedad de estructuras organominerales, como excreciones, nidos, montículos, macroporos y galerías (Lavelle P. , 1997).

Es así como las lombrices son de gran influencia dentro de la macrofauna por su mayor presencia y biomasa, cumplen una función estructural, debido a que sus galerías facilitan que las raíces puedan desarrollarse y crecer más fácilmente, sus excretas tienen la capacidad de retener agua y contener importantes nutrientes para las plantas (Ibáñez & García, 2002). Se cree también que el papel funcional de las estructuras que forman las lombrices en el suelo es importante porque representan sitios donde ocurren ciertos procesos pedológicos como la estimulación de la actividad microbiana, formación de la estructura del suelo, Dinámica de la MOS e intercambio de agua y gases (Lavelle & Spain, 2001).

Efectos físicos sobre suelo

Cinco son los efectos considerados que pueden provocar los macroinvertebrados en la estructura del suelo, que son la actividad de macro y micromezcla de las partículas de suelo, construcción de galerías (importantes para la aireación y el drenaje del agua), fragmentación (de material vegetal muerto) y formación de agregados del suelo (después de la fragmentación y descomposición en humus del material vegetal) (Ruiz et al., 2008).

Efectos químicos directo e indirectos

El efecto químico más importante de la macrofauna en el suelo es la modificación de la calidad de los alimentos a través de su paso por el intestino y, en particular, la mineralización de materia orgánica y la liberación de nutrientes. La macrofauna del suelo también influye en la composición química del suelo a través de la deposición de excrementos. El principal efecto químico indirecto es la mineralización de N, P y S a través de la activación de la microflora (Ruiz et al., 2008).

Efectos biológicos

En un suelo natural, existe un equilibrio complejo y dinámico entre los diferentes grupos de organismos con diferentes hábitos de alimentación. La depredación y la competencia son los principales factores que controlan este equilibrio. La depredación tiene un papel importante porque establece un equilibrio entre el número de individuos y la cantidad de recursos disponibles. La competencia es otra forma de mantener las poblaciones de fauna del suelo en equilibrio con los recursos del suelo (Ruiz et al., 2008).

Otro efecto biológico de la macrofauna del suelo es la desaparición de material animal muerto. Este trabajo es realizado por organismos necrófagos (que se alimentan de animales muertos y / o en descomposición) y coprófagos (que se alimentan de estiércol o excrementos) como larvas de dípteros, larvas y adultos de coleópteros y lepidópteros. Limpian la superficie del suelo e incorporan materia orgánica al suelo. Además, la macrofauna del suelo disemina bacterias y esporas a través de la dispersión de excrementos en el suelo o por transporte corporal. Las lombrices de tierra determinan la profundidad de reparto vertical en el suelo (Ruiz et al., 2008).

La macrofauna del suelo como bioindicador

El instituto de la Calidad del Suelo de la USDA (1996) señala como indicadores de la calidad del suelo a las propiedades físicas, químicas, biológicas y los procesos que ocurren en él. Sin embargo, Anderson e Ingram (1993) mencionan que los macroinvertebrados también pueden ser considerados como indicadores de la calidad del suelo, debido a que la diversidad de invertebrados edáficos o unidades taxonómicas, población de individuos dentro de cada unidad taxonómica, su biomasa y la dinámica que se produce en el medio edáfico son factores sensibles de los invertebrados al estrés y al cambio del ambiente y las condiciones del suelo. La perturbación del suelo principalmente es originada por distintas actividades que hace el hombre en él, como son la quema, mecanización, establecimiento de monocultivos, aplicación de productos químicos, entre otros; lo que genera una disminución en la diversidad vegetal. Cuando un suelo es alterado se manifiesta con problemas tales como la compactación, disminución de la fertilidad y biodiversidad, etc.

Si los bioindicadores existen en cantidades considerables, se tiene como referencia a que el suelo posee buenas condiciones físicas, químicas y con presencia de diversas especies vegetales; sin embargo, si el medio edáfico se encuentra con una escasa vegetación y los materiales de consumo son escasos, las comunidades de macroinvertebrados se manifiestan con una disminución en su poblaciones, llegando en ciertos casos a reduciré hasta llegar a cero (Anderson & Ingram, 1993).

Una mayor abundancia y diversidad de la macrofauna puede ayudar a asegurar los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes y un rápido crecimiento de los cultivos. Se ha demostrado que la macrofauna del suelo de los sistemas tropicales desempeña un papel fundamental en los procesos que determinan la conservación y fertilidad del suelo, regulando la disponibilidad de los nutrientes asimilables por las plantas y favoreciendo la estructura edáfica e influye en las condiciones de vida, la densidad poblacional y la diversidad de otras comunidades de invertebrados del suelo (Feijoo & Knapp, 1998).

Diversidad biológica

Por diversidad biológica se entiende la variabilidad entre organismos vivos de todas las fuentes, incluidos, entre otros, los sistemas terrestres, marinos y acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte, esto incluye la diversidad dentro de las especies, entre especies y de ecosistemas (Magurran, 2003).

Castillo (2016) menciona que la biodiversidad biológica resulta de muchos cambios o procesos evolutivos de las especies. No obstante, la diversidad del ecosistema es cuánta variedad genética haya en el mismo, el hábitat y de los procesos funcionales.

La diversidad es considerada como un atributo de las biocenosis, relacionado con importantes procesos ecológicos, y suele ser usada como un descriptor de la estructura de los ecosistemas, por cuanto se piensa que es el resultado de la interacción entre sus especies. Aunque el concepto de diversidad parece claro e intuitivo, su cuantificación plantea numerosos problemas y, los procedimientos utilizados son muy variados (Ibáñez & García, 2002).

Índice de biodiversidad

Índice de Shannon

Forma parte de los índices de equidad y expresa que tan uniforme son los valores de la totalidad de especies de la muestra. Los valores van de 0 a 5; siendo cero cuando existe únicamente una sola especie en la totalidad de la muestra y 5 cuando las especies tienen una población de individuos equitativa (Moreno, 2001).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Ubicación del área de investigación

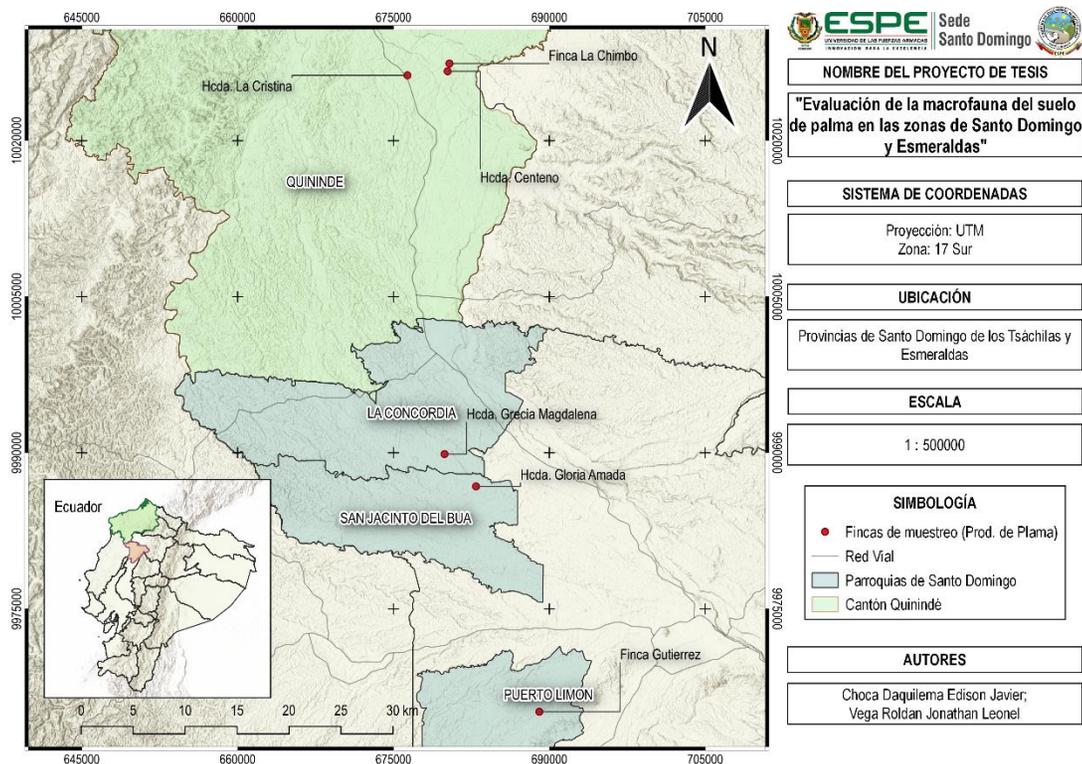
Ubicación Política

La investigación se realizó en las localidades de Santo Domingo y Esmeraldas. De cada provincia se seleccionaron tres fincas dedicadas a la producción de palma africana para la toma de muestras.

Ubicación geográfica

Figura 1

Ubicación geográfica de la investigación.



Nota: Esta figura muestra la ubicación de las fincas productoras de palma donde se realizaron los muestreos de la macrofauna edáfica.

Caracterización de los puntos de muestreo

Tabla 1

Caracterización de los puntos de muestreo.

Fincas						
Ubicación	Santo Domingo			Esmeraldas		
	Finca Gutiérrez	Hcda. Grecia Magdalena	Hcda. Gloria Amada	Finca La Chimbo	Hcda. Centeno	Hcda. La Cristina
Coordenadas	689034,285 E	679906,751 E	682941,68 E	680383,496 E	680208,877 E	676338,775 E
UTM (17S)	9965096,53 N	9989876,28 N	9986761,1 N	10027413,9 N	10026672,4 N	10026278,2 N
Dirección	Vía Puerto Limón Km 14	La Concordia, Vía la Flecha	Vía Colorados del Búa km 30	E20, La Unión, Quinindé.		
Propietario	Sr. René Gutiérrez	Sr. Samuel Solórzano	Ing. Franklin Pauta	Unión de Palmeros UNIPAL S.A. John Torres y Natalia Torres		
Hectáreas	5	10	25	30	180	98
Densidad de plantas/ha	120	120	130	128	128	128

Nota: Esta tabla muestra las características de las fincas productoras de palma donde se realizaron los muestreos de la macrofauna.

Materiales

Materiales de campo

- GPS
- Flexómetro
- Cuadrante de 25 cm x 25 cm
- Pala
- Machete
- Bandejas plásticas
- Pinzas de disección
- Envases plásticos

Materiales de oficina

- Libreta de campo
- Impresora
- Folder
- Computadora

Equipos

- Balanza digital
- Estereomicroscópio
- Equipo de disección

Insumos

- Alcohol al 70%
- Formol al 4%

Métodos***Tipo de investigación***

La investigación realizada fue de tipo descriptiva con el método comparativo debido a que se estudió la población de macroinvertebrados edáficos en dos localidades mediante la observación científica (examinando los organismos para clasificarlos de acuerdo a su unidad taxonómica), observación directa (debido al contacto con los organismos estudiados) e indirecta (por la recopilación de información de fuentes bibliográficas).

Diseño de la investigación

Se utilizó un diseño no experimental transeccional descriptivo ecológico y para el análisis de datos se emplearon pruebas no paramétricas previamente aplicando los tests de Kolmogorov-Smirnov y de Levene para confirmar que los datos recopilados no cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad respectivamente.

Como prueba a posteriori de la comparación de diferencias de las variables de densidad poblacional, biomasa e índices entre estratos se empleó el test no paramétrico de Kruskal Wallis por tener una variable aleatoria ordinal (estrato del suelo).

Se construyeron curvas de abundancia a partir de la transformación logarítmica de los datos del número de individuos de macroinvertebrados de las familias identificadas para analizar la dominancia en cada localidad.

Variables evaluadas

Clasificación de los componentes biológicos

Para esta variable los macroinvertebrados fueron clasificados de acuerdo a la Clase, subclase, Orden y Familia mediante las claves taxonómicas en el laboratorio de biología celular observando sus estructuras con ayuda del estereomicroscopio.

Biomasa

Expresada en g/m² se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$Biomasa = \frac{\text{Peso de los organismos (g)}}{\text{Área de estudio (m}^2\text{)}}$$

Densidad poblacional

Esta variable expresada en individuos/m² se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Densidad\ poblacional = \frac{\text{Número de individuos}}{\text{Área de estudio (m}^2\text{)}}$$

Índice de diversidad

Para el principio de equidad se utilizó el índice de Shannon-Weiner mediante la ecuación:

$$H' = - \sum (p_i \cdot \ln p_i)$$

$$\text{Siendo: } p_i = \frac{n_i}{N}$$

Donde:

p_i : Abundancia proporcional de la i ésima familia

n_i : número de individuos de la familia i

N : número total de individuos para todo el número total de familias en la comunidad.

Para determinar la similitud entre los organismos se utilizó el índice de Jaccard:

$$I_J = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

a : número de familias presentes en el sitio A

b : número de familias presentes en el sitio B

c : número de familias presentes en ambos sitios (A y B)

Manejo de la investigación

Sitios de estudio

Se identificaron tres fincas productoras de palma en Santo Domingo y tres fincas en la provincia de Esmeraldas tomando puntos de su ubicación en coordenadas UTM con ayuda del GPS.

Con la ayuda de los propietarios de las fincas se recorrió cada una de ellas para conocer su extensión y establecer los puntos de muestreo aleatorios.

Muestreo

Se utilizó la metodología señalada por el *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF) de Anderson & Ingram (1993), ubicando 5 puntos de muestreo por cada finca, separados a una distancia de 10 m cada uno a lo largo de un transecto imaginario (Figura 2).

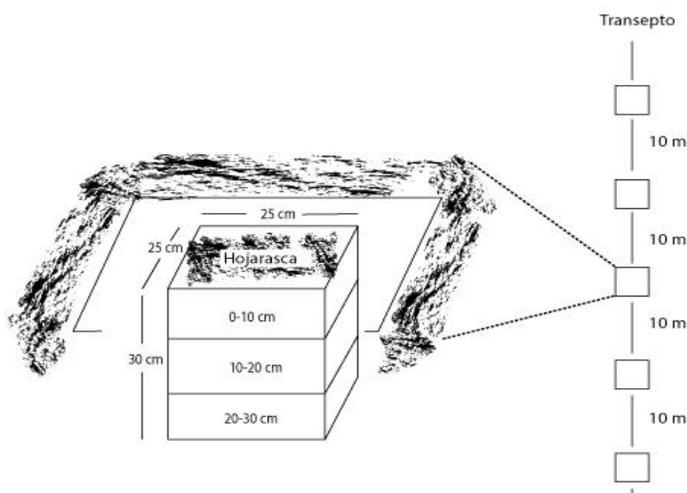
Con ayuda del cuadrante de 25 x 25 cm colocado en el suelo en el punto de muestreo se extrajo la hojarasca para poder examinar los macroinvertebrados que había en ella y posteriormente se realizó una zanja de 20 cm de ancho y 30 cm de profundidad alrededor del cuadrante para poder extraer el monolito con facilidad.

Se extrajo tres capas del monolito, de 0 a 10 cm, de 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm. Cada capa fue examinada en bandejas para recoger todos los invertebrados y colocarlos en recipientes identificados con alcohol al 70%.

Después de haber recogido los macroinvertebrados se procedió a cubrir los agujeros realizados con la tierra extraída.

Figura 2

Esquema del muestreo por el método TSBF.



Nota: la figura representa la toma de muestras para macroinvertebrados esquematizada mediante el transecto lineal, método que señala el *Tropical Soil Biology and Fertility* de Anderson & Ingram (1993).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE MACROFAUNA

Tabla 2

Composición y abundancia de la comunidad de macrofauna del suelo de palma en dos localidades.

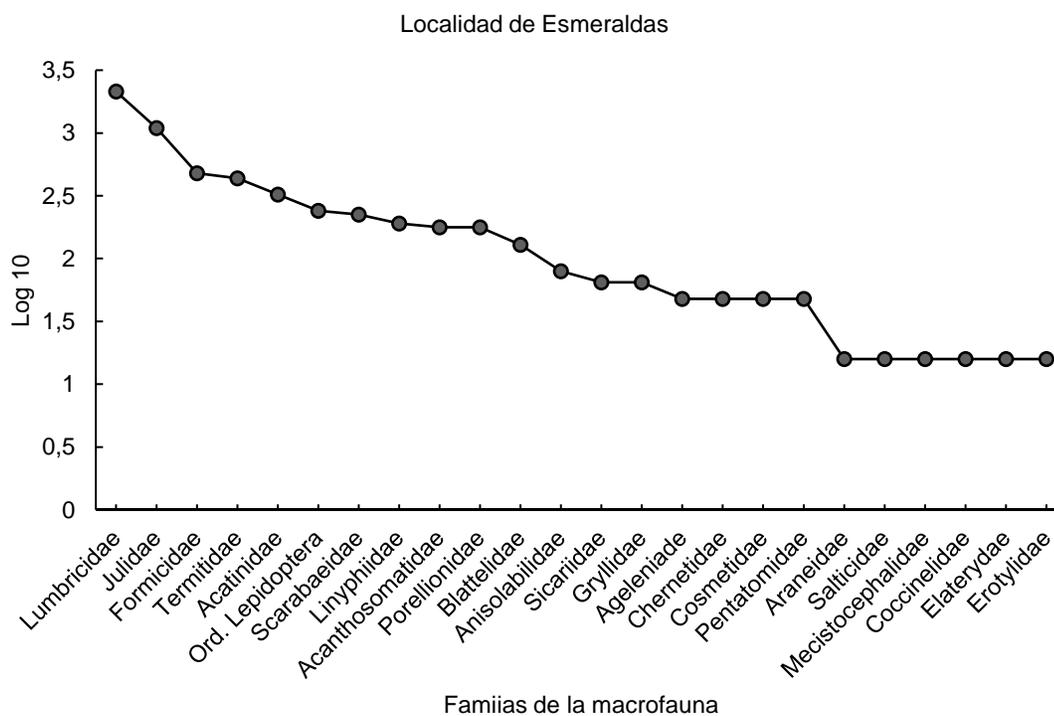
Clase	Subclase	Orden	Familia	N° Ind/m ²		
				Esmeraldas	Santo Domingo	
Arachnida	Megoperkulata	Araneae	Linyphiidae	192	128	
			Araneidae	16	0	
			Ageleniade	48	16	
			Sicariidae	64	16	
			Salticidae	16	0	
	Pseudoescorpionida	Chernetidae	48	0		
	Dromorpoda	Opiliones	Cosmetidae	48	16	
Chilopoda		Geophilomorpha	Mecistocephalidae	16	48	
Clitellata	Oligochaeta	Haplotaxida	Lumbricidae	2144	880	
Diplopoda	Chilognatha	Julida	Julidae	1104	192	
Diplura		Diplura	Anajapygidae	0	48	
Gastopoda		Pulmonata	Acatinidae	352	192	
			Blattodea	Blattellidae	128	96
				Coccinelidae	16	48
	Elateridae	16		0		
	Elrotylidae	32		0		
	Lampyridae	0		16		
	Scarabaeidae	224		288		
	Coleoptera	Staphylinidae	0	16		
		Pterygota	Dermaptera	Anisolabilidae	80	48
			Hemiptera	Acanthosomatidae	176	16
				Pentatomidae	48	0
	Hymenoptera	Formicidae	480	2288		
	Isoptera	Termitidae	432	304		
Lepidoptera	Orthoptera	Larvas	240	80		
		Gryllidae	64	0		
		Tetrigidae	0	48		
Malacostraca	Isopoda	Porellionidae	176	192		
		Total	6160	4976		

Nota: Esta tabla muestra la composición y abundancia de los grupos de macrofauna edáfica encontrados en las fincas productoras de palma en las localidades de Esmeraldas y Santo Domingo de los Tsáchilas.

La evaluación de la macrofauna dentro de los 30 cm de suelo en las dos localidades mostró la presencia de 8 clases de macroinvertebrados y 16 grupos taxonómicos en cada localidad, logrando identificar 23 familias en la zona de Esmeraldas y 20 familias en la zona de Santo Domingo (Tabla 2). En cuanto a la riqueza taxonómica Pashanasi (2001) y Arlen (2019) estudiando la biodiversidad de macroinvertebrados edáficos en las plantaciones de palma encontraron valores similares con 22 y 20 unidades taxonómicas respectivamente.

Figura 3

Curva de abundancia de familias de macroinvertebrados en Esmeraldas.



Nota: Esta figura muestra la curva de abundancia de las familias de macroinvertebrados encontradas en los 30 primeros centímetros de suelo en las fincas de palma en la localidad de Esmeraldas.

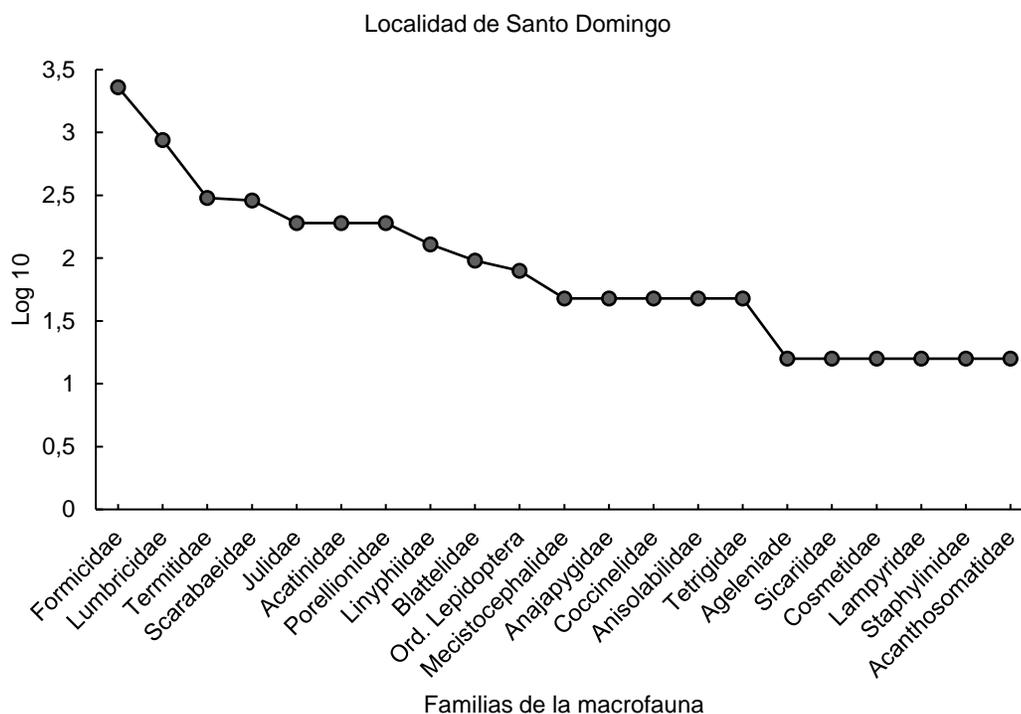
En los suelos de las fincas de palma en la localidad de Esmeraldas se notó el predominio de las familias de invertebrados como las lombrices de tierra (Lumbricidae) y ciempiés (Julidae) (Figura 3) con una abundancia absoluta de 2144 y 1104 ind/m² respectivamente (Tabla 2). Potapov, et al., (2019) menciona que las poblaciones y proporción de macroinvertebrados que se puede encontrar en el medio edáfico dependen de los usos de suelo, en los bosques se encuentra una mayor proporción de invertebrados depredadores (insectos y arácnidos) y en menor cantidad pequeños descomponedores (Colémbolos), sin embargo, señala que para los suelos de palma de aceite se encuentran en mayor proporción grandes descomponedores como las lombrices. Sabrina, et al., (2009) señalan que las lombrices tienden a establecerse en los suelos agrícolas que presentan un alto contenido de materia orgánica, nitrógeno y presenten cobertura vegetal que genere una alta humedad relativa, siendo estas tres características principales aportadas por las coberturas de leguminosas que se establecen generalmente en las plantaciones de palma.

Las lombrices forman parte del grupo de los ingenieros del suelo y su presencia por lo general viene acompañada de otros grupos como las termitas (Isoptera) y omnívoros como son las hormigas (Formicidae) que tienen un impacto positivo en las propiedades físicas del suelo formando estructuras y galerías que ayudan al movimiento y retención de las moléculas de agua en el suelo (Lavelle P. , 1997). De igual forma el grupo de los ciempiés (Diplópodos) se encuentran en poblaciones grandes cuando existen gran cantidad de hojarasca que es consumida y excretada que facilita la actividad de los organismos descomponedores (Lavelle & Spain, 2001).

Así mismo se observaron grupos con menor abundancia, en los que se encuentran los arácnidos (Araneidae, Salticidae), milpiés (Mecistocephalidae), hemípteros (Pentatomidae) y escarabajos (Coccinellidae, Elateridae y Elrotlyidae) (Figura 3). Esta minoría de grupos concuerdan con los de Pashanasi (2001) y Cabrera et al., (2018) que determinaron para sistemas tropicales de cultivos porcentajes de presencia entre 11 a 15% para algunas familias de hemípteros y larvas de coleópteros y determinadas familias de Araneae considerados como depredadores.

Figura 4

Curva de abundancia de familias de macroinvertebrados en Santo Domingo.



Nota: Esta figura muestra la curva de abundancia de las familias de macroinvertebrados encontradas en los 30 primeros centímetros de suelo de las fincas de palma en la localidad de Santo Domingo.

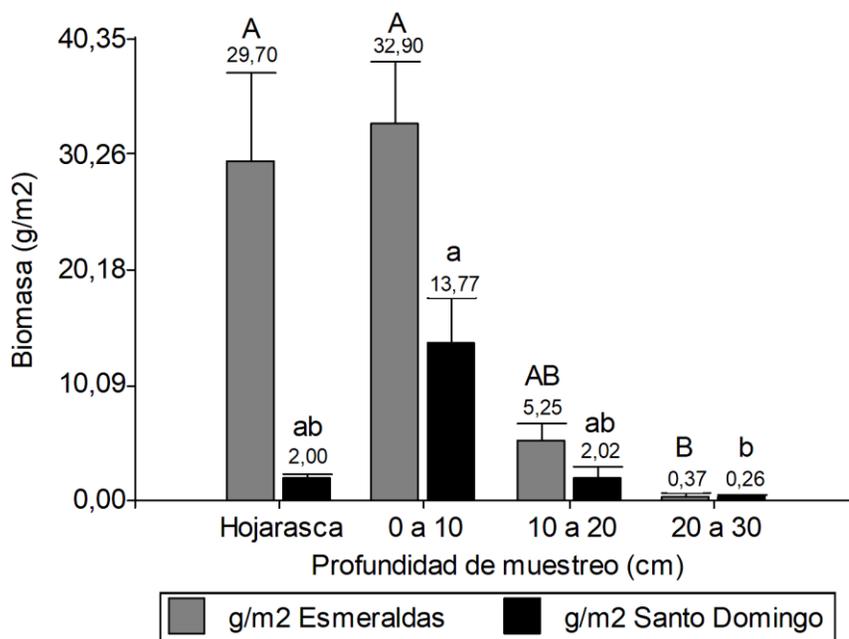
En la localidad de Santo Domingo prevalecieron las familias de hormigas (Formicidae) y lombrices de tierra (Lumbricidae) con una densidad poblacional de 2288 y 880 ind/m² (Tabla 2). A pesar de que en los cultivos jóvenes de palma se realizan controles de hormigueros específicamente para las hormigas del género *Atta* por su hábito defoliador, en plantaciones que se encuentran en producción la actividad de estas especies cesa y se encuentran otros tipos, que conjuntamente con las termitas, lombrices de tierra y algunos coleópteros, cumplen el papel designado como ingenieros del ecosistema y por su contribución a las propiedades físicas de los suelos mediante procesos de agregación y formación de la estructura edáfica (Lavelle P. , 1997).

En esta misma zona los grupos de macrofauna de menor abundancia, por debajo de los 16 ind/m² (Tabla 2) estuvieron representados por arañas (Agelaneidae, Sicariidae, Cosmetidae), las familias Lampyridae y Staphylinidae del orden Coleoptera y la familia Acanthosomatidae del orden Hemiptera (Figura 4). Los macroinvertebrados con poblaciones intermedias en las dos localidades fueron los órdenes Blattodea, Pulmonata, Dermaptera, Isopoda y larvas de Lepidóptera (Figura 3 y 4), que son grupos que no representan una amenaza para el cultivo sin embargo pertenecen al grupo de detritívoros del suelo que se alimentan de los residuos de la materia orgánica en diferentes estados en descomposición (Lavelle P. , 1997).

BIOMASA DE LA MACROFAUNA

Figura 5

Biomasa de la macrofauna edáfica encontrada por profundidad de muestreo en las dos localidades.



Nota: Esta figura muestra la media de la biomasa de la macrofauna expresada en gramos por metro cuadrado (g/m²) por cada profundidad de muestreo del suelo (cm) encontrada en las fincas de palma aceitera en las localidades. Letras distintas mayúsculas para Esmeraldas y minúsculas para Santo Domingo, indican diferencia significativa entre niveles de suelo, por la prueba de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

La biomasa de la macrofauna edáfica fue más alta en el estrato de 0 a 10 cm de profundidad para las dos localidades de Esmeraldas y Santo Domingo, con una media de 32,90 y 13,77 gramos por metro cuadrado (g/m^2) respectivamente. A la profundidad de 10 a 20 y de 20 a 30 cm no presentó diferencias significativas según el análisis de varianza para las dos localidades (Figura 3), presentando el menor valor este último con 0,37 y 0,26 g/m^2 . Entre las dos localidades existió una diferencia significativa en todos los estratos, con una mayor biomasa de macroinvertebrados en la localidad de Esmeraldas. De acuerdo con los niveles de suelo estudiados, la mayor biomasa se encontró en el nivel de 0 a 10 cm de profundidad con un 62% de la misma.

Pashanasi, (2001) encontró en su estudio realizado en una plantación de palma aceitera una biomasa de 18,05 g/m^2 . También identificó que, de toda la biomasa encontrada, el 82% de la misma se halló hasta los 20 cm de profundidad. En comparación con la localidad de Santo Domingo, existe una cierta similitud en la biomasa encontrada en las fincas de esta localidad. El porcentaje de biomasa encontrada en las dos localidades hasta los 20 cm de profundidad fue de un 90%, similar al estudio de Pashanasi, esto dado las condiciones climáticas de las zonas.

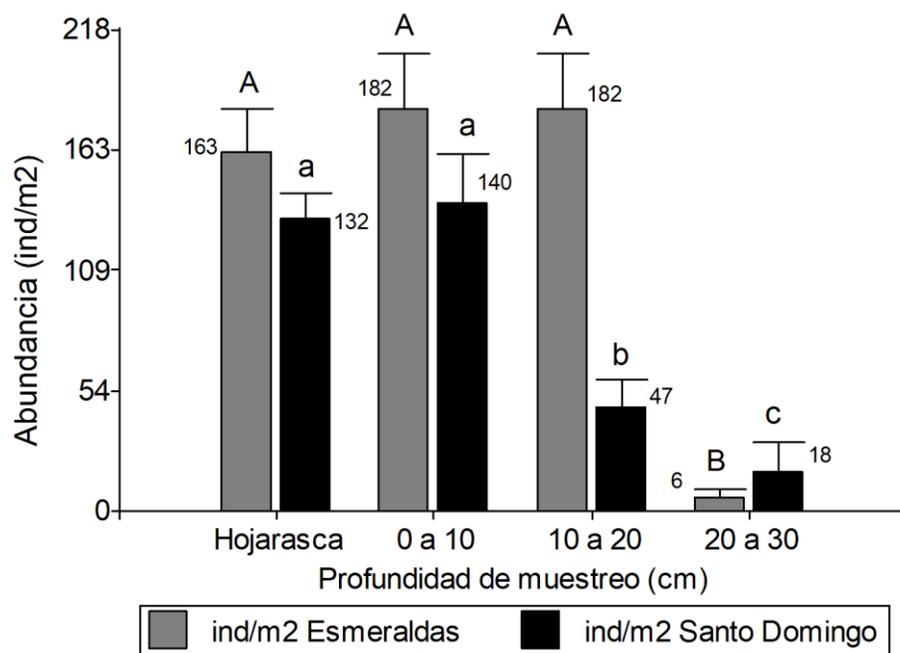
La poca biomasa encontrada en el estrato 20 a 30 cm en las dos localidades puede atribuirse al tamaño de los macroinvertebrados encontrados, tal como menciona Nambuya, Sekwewa, Nkwiine, & Wetala (2013), esta fuerte disminución vertical (profundidad del suelo) podría haber implicado que solo organismos diminutos como las hormigas Hymenoptera y algunas termitas Isoptera (con menor biomasa) pudieron prosperar en capas más profundas del suelo, pero la macrofauna de cuerpo pesado como caracoles, babosas, milpiés, ciempiés y lombrices de tierra no pudieron debido a su gran tamaño.

También, en un estudio realizado por (Núñez, 2019) en la localidad de Santo Domingo en el cultivo de Plátano encontró una biomasa 152,13 g/m^2 al nivel de 0-10 cm de profundidad, cantidad superior a la encontrada en el cultivo de palma, debido a factores de compactación y manejo del cultivo.

DENSIDAD POBLACIONAL DE LA MACROFAUNA

Figura 6

Densidad poblacional de la macrofauna del suelo de palma.



Nota: Esta figura muestra la media de la densidad poblacional (abundancia) expresada en individuos por metro cuadrado (ind/m^2) por cada profundidad de muestreo del suelo (cm) encontrada en las fincas de palma en las dos localidades. Letras distintas mayúsculas para Esmeraldas y minúsculas para Santo Domingo, indican diferencia significativa entre niveles de suelo, por la prueba de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

La abundancia acumulada en los suelos de palma en la zona de Esmeraldas para los cuatro estratos fue de $6160 \text{ ind}/\text{m}^2$ con una media de $267 \text{ ind}/\text{m}^2$ (Tabla 2). La prueba de Kruskal-Wallis no encontró diferencias estadísticas significativas para los tres primeros niveles del suelo (hojarasca, 0 a 10 y 10 a 20 cm), sin embargo se puede apreciar en la Figura 6 que en los primeros 20 cm de suelo se encuentra distribuida la mayor cantidad de macroinvertebrados, con una media poblacional de $182 \text{ ind}/\text{m}^2$, seguido de la hojarasca con una media poblacional de $163 \text{ ind}/\text{m}^2$, mientras que el menor promedio de densidad poblacional se encontró a la profundidad de 20 a 30 cm con una densidad poblacional de $6 \text{ ind}/\text{m}^2$.

La densidad poblacional acumulada para la localidad de Santo Domingo fue en los cuatro niveles de suelo fue de 4976 ind/m² con un promedio de 248 ind/m² (Tabla 2). No se encontró diferencia estadística significativa de la abundancia de individuos entre la hojarasca y los 10 primeros cm de profundidad de muestreo, sin embargo, se puede apreciar que éste último posee la mayor densidad poblacional con 140 ind/m² a diferencia de la hojarasca con 132 ind/m². Las profundidades de muestreo 10 a 20 y 20 a 30 cm fueron donde se encontró menor abundancia, con 47 y 18 ind/m² respectivamente (Figura 6).

Tabla 3

Distribución de los grupos taxonómicos por profundidad de muestreo.

		Profundidad de muestreo (cm)			
		Hojarasca	0 a 10	10 a 20	20 a 30
N° de grupos taxonómicos	Esmeraldas	16	11	11	4
	Santo Domingo	13	11	9	5

Nota: Esta tabla muestra el número de grupos taxonómicos (órdenes) encontrados por cada nivel de muestreo en las localidades de muestreo.

A pesar de que en los 20 primeros cm de suelo (para Esmeraldas) y los 10 primeros cm de suelo (para Santo Domingo) se encuentra la mayor densidad poblacional (ind/m²) (Figura 6), la riqueza taxonómica arrojó que en la hojarasca se encuentra la mayor parte de los grupos de macroinvertebrados para las dos localidades (Tabla 3).

Los resultados de abundancia de esta investigación son similares a los encontrados por Pashanasi (2001) respecto a la distribución vertical, debido a que señala que el 82% de los individuos macroinvertebrados se encuentran hasta los 20 cm de profundidad del suelo, destacando el nivel de 0 a 10 cm donde la abundancia es mayor y determinó que allí se encuentra el 60% de individuos, siendo la profundidad de 20 a 30 cm donde existe menor porcentaje de individuos (10%).

Los valores bajos de abundancia de los macroinvertebrados en los últimos 10 cm de suelo pueden ser explicados porque los organismos vivos se distribuyen a lo largo de la corteza edáfica donde las condiciones sean adecuadas para su desarrollo y un cambio de las condiciones ambientales químicas y físicas del suelo pueden provocar una alteración en las poblaciones de los grupos de macroinvertebrados (Anderson & Ingram, 1993).

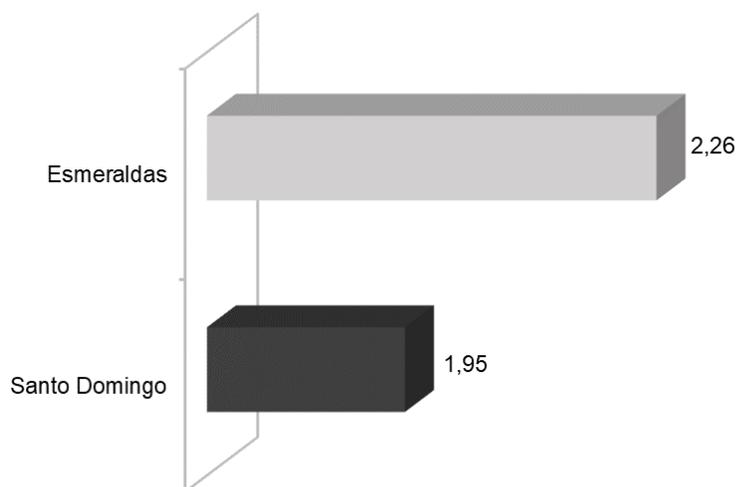
Uno de los problemas que se presenta comúnmente en las plantaciones de palma africana es la compactación de los suelos, que puede encontrarse en forma localizada en las zonas de fertilización (plato) y en las calles, esto puede ser causado por el efecto de la caída de los racimos, el pisoteo de los operarios y de los equipos para la cosecha, ya sea con maquinaria, carretones o búfalos (Munévar, 1998). Cristancho, et al., (2007) señalan que entre los 20 y 30 cm de profundidad en los suelos cultivados con palma de aceite puede existir una compactación de tal grado que limita no sólo el desarrollo de las raíces, sino que también se disminuyen las poblaciones de macroinvertebrados y su actividad biológica (Arlen, et al., 2019; Lok 2005)

ÍNDICES DE DIVERSIDAD

Índice de diversidad de Shannon-Weinner

Figura 7

Índice de diversidad de Shannon Weinner para la macrofauna en dos localidades.



Nota: Esta figura muestra el índice de diversidad de Shannon Weiner para las familias de macroinvertebrados que se encontraron en las fincas de muestreo en las localidades de Santo Domingo y Esmeraldas.

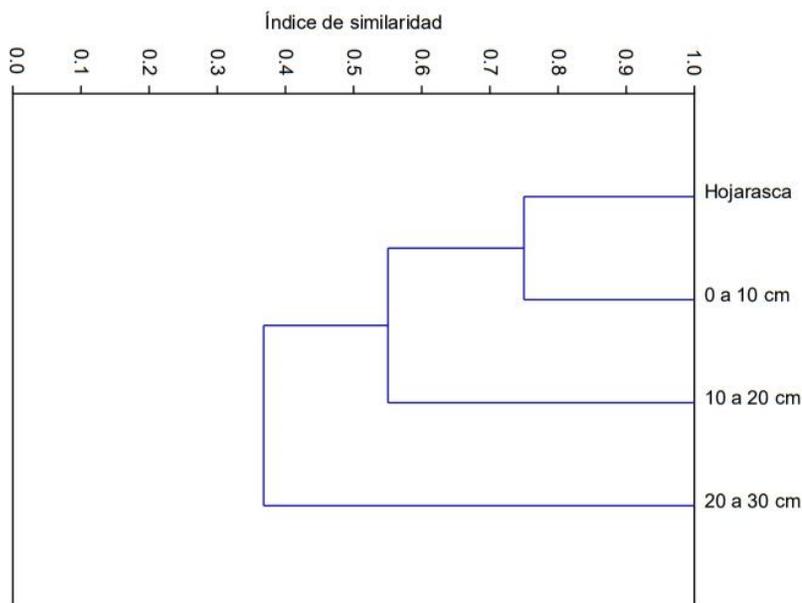
El índice de Shannon Weiner aplicado en el estudio para comparación de diversidad entre las dos localidades de Santo Domingo y Esmeraldas arrojó un índice de 2,26 y 1,95 respectivamente. Según expresa Shannon los valores menores a 2 presentan una baja diversidad de especies y mayores a 3 presentan una alta diversidad. Por lo cual se puede identificar que la localidad de Esmeraldas tiene una mayor diversidad de especies a comparación a la de Santo Domingo.

Este moderado índice de diversidad encontrada en las dos localidades de estudio se puede atribuir al uso del suelo, así como el manejo que se realiza en el cultivo, como es el uso de búfalos de carga para la recolección de la fruta cosechada. Moran & Alfaro (2015) mencionan que un factor asociado a la diversidad es la cobertura vegetal, misma que influye en la humedad, temperatura y en las propiedades físicas y químicas del suelo que forman el hábitat de los macroinvertebrados. En las fincas estudiadas no presentaban dicha cobertura, la cual influiría a tener un mayor índice de diversidad a nivel de familias.

Índice de similitud de Jaccard

Figura 8

Índice de similitud en la composición de familias de la macrofauna por estrato.



Nota: Esta figura muestra el índice de similitud de las familias de macroinvertebrados por localidad y profundidad de muestreo.

La prueba de similitud entre profundidades arrojó su expresión más alta ($J=0,75$) entre la hojarasca y los primeros 10 cm de suelo, es decir que estos dos niveles comparten el 75% (21 familias) de todas las familias de macroinvertebrados que se encontraron. Al comparar los dos primeros niveles con la profundidad de 10 a 20 se muestra una reducción del 21%. Es decir que la profundidad de muestreo de 10 a 20 comparte el 54% de las familias respecto a la hojarasca y los 10 primeros cm de suelo. El menor valor del índice de Jaccard se obtuvo en los últimos 10 cm de profundidad (20 a 30) con un valor de $J=0,38$ (Figura8).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Culminada la investigación se concluye que:

La composición de la comunidad de macrofauna en los suelos de palma en los primeros 30 centímetros mostró la presencia de 8 clases de macroinvertebrados y 16 grupos taxonómicos para las dos localidades, siendo en las fincas de Esmeraldas donde se encontró un número relativamente mayor de comunidades de macroinvertebrados (23 familias) en comparación a las zonas de muestreo de la localidad de Santo Domingo (20 familias).

Las comunidades de macrofauna que ejercen dominancia en los suelos de palma fueron las familias Lumbricidae, Formicidae, Termitidae (ingenieros del ecosistema) y Julidae (transformadores de la hojarasca), mientras que entre los grupos menos numerosos se encontraron las familias de depredadores como Araneidae, Salticidae, Mecistocephalidae y los invertebrados herbívoros de los grupos hemíptera y larvas de coleópteros.

La abundancia acumulada de la macrofauna en los suelos de palma fue mayor en las fincas de la localidad de Esmeraldas con 6160 ind/m^2 , donde las poblaciones se distribuyeron en mayor cantidad entre los primeros 20 cm de suelo con una media poblacional de 182 ind/m^2 y en menor cantidad en la profundidad 20 a 30 cm con un promedio de 6 ind/m^2 . Mientras que en Santo Domingo con 4976 ind/m^2 la mayor abundancia se registró en los primeros 10 cm de suelo con una media de 140 ind/m^2 y en menor cantidad en los últimos 10 cm de profundidad con 48 ind/m^2 .

La biomasa de la macrofauna al igual que la abundancia decrece en sus valores a medida que incrementa la profundidad del suelo, registrando los valores más altos en ambas localidades a la profundidad de 0 a 10 cm con 32,9 g/m² para Esmeraldas y 13,77 g/m² para Santo Domingo.

En la hojarasca se encuentran la mayor parte de los grupos de macrofauna a pesar de que en las profundidades 0 a 10 cm, en Esmeraldas, y 10 a 20 cm, en Santo Domingo, existe mayor abundancia de individuos por metro cuadrado.

En los suelos de las fincas de la localidad de Esmeraldas donde se realizó el muestreo se encontró una mayor diversidad de especies de acuerdo con el índice de Shannon Weiner, siendo esta localidad en la que más se cultiva la palma aceitera debido a las condiciones óptimas de clima y suelo.

La hojarasca y los primeros 10 cm de profundidad de muestreo comparten el 75% de las familias de macroinvertebrados y este porcentaje de similitud de Jaccard disminuye a medida que aumenta la profundidad de muestreo.

RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones que demuestren el impacto que tienen las prácticas agrícolas en el cultivo de palma sobre la densidad, abundancia y diversidad de la macrofauna edáfica.

Considerar la evaluación de estudios cuantitativos de la macrofauna edáfica en diferentes usos de suelo en varias localidades y épocas del año a fin de comparar la dinámica de estas poblaciones en diferentes ecosistemas.

Añadir análisis químicos de suelos en los muestreos como una variable para establecer una relación entre la calidad del suelo y la diversidad de macroinvertebrados edáficos.

Realizar estudios donde se determine el efecto que tienen las coberturas de suelo como factor de humedad y fuente de residuos vegetales sobre las comunidades de macroinvertebrados edáficos.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- Anchundia, M. (2015). *Diversidad de la Macrofauna de los Suelos en dos Sistemas de Producción de Banano y Plátano en la zona de El Carmen y La Maná*. Quevedo: Universidad Tecnológica Estatal de Quevedo. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4617/1/T-UTEQ-042.pdf>
- Anderson, J., & Ingram, J. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility A Handbook of Methods* (Segunda ed.). C.A.B International.
- Arlen, J., Abdul, R., Sabina, T., & Akoeb, E. (2019). Soil macrofauna in Oil palm plantation of Sei Liput. *Earth Environ Science*, 305. doi:10. 10.1088/1755-1315/305/1/012005
- Ashton-Butt, A., Aryawan, A., Hood, A., Naim, M., Purnorno, D., Shuardi, . . . Snaddon, J. (2018). Understory Vegetation in Oil Palm Plantations Benefits Soil Understory Vegetation in Oil Palm Plantations Benefits Soil. *Frontiers in Forests and Global Change*, 1-10. doi:10.3389/ffgc.2018.00010
- Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J., Bueno, J., . . . Rodríguez, C. (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales Mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana*. doi:10.21829/azm.2001.8401847
- Cabrera, G., & López, G. (2018). Caracterización ecológica del macorfauna edáfica en dos sitios de bosque siempreverde en El SALón, Sierra del Rosario, Cuba. *BOSQUE*, 363-373. doi:10.4067/S0717-92002018000300363
- Cabrera, G., Socarrás, A., Guitierrez, E., Tcherva, T., Martínez, C., & Lozada, A. (2017). Fauna del Suelo. En C. Mancina, & D. Cruz Flores, *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas* (págs. 255-283). La Habana, Cuba: Editorial AMA.

- Castillo, R. (2016). *Diversidad y abundancia de la macrofauna edáfica en tres sistemas de uso de suelo Illpa-Puno*. Universidad Nacional del antiplano. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5150/Castillo_Santos_Raisa_Gabriela.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chávez, L., Rodríguez, I., Benítez, D., Torres, V., Estrada, W., Herrera, M., . . . Bruqueta, D. (2020). Caracterización de la macrofauna edáfica en cinco agroecosistemas de pastizales en la provincia de Granma. Riqueza y abundancia. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(4), 599-609.
- Cristancho, J., Munévar, F., Acosta, A., Santacruz, L., & Torres, M. (2007). The Relationship between Edapic Soil Characteristics and the Developnet of the Root System in Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *PALMAS*, 28(1), 21-29.
- Cristiansen, K. (1964). Bionomics of collembola. *Annu. Rev. Entomol*, 147-178. Obtenido de www.annualreviews.org
- Darras, K., Corre, M., Formaglio, G., Tjoa, A., Potapov, A., Brambach, F., . . . al., e. (2019). Reducing Fertilizer and Avoiding Herbicides in Oil Palm Plantatios - Ecological and Economic Valuations. *Front. For. Glob. Change*, 11(65), 1-15. doi:<https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00065>
- Dokuchaev, V. (1899). *Sobre el estudio de las zonas de la Naturaleza. Zonas edáficas verticales*. La Habana: Científico-Técnica.
- FAO. (2015). *Suelos y Biodiversidad*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- FAO. (s.f.). Perspectiva por Sectores Principales. En *Agricultura Mundial* (págs. 33-74). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Obtenido de <http://www.fao.org/3/y3557s/y3557s04.pdf>
- Feijoo, A., & Knapp, E. (1998). El papel de los macroinvertebrados como indicadores de fertilidad y perturbación de suelos de ladera. *Suelos Ecuatoriales*(28), 254-259.

- Ganchozo, W., & Huaraca, H. (2017). *Guía para facilitar el parendizaje en el manejo integrado del cultivo de Palma Aceitera (Elaeis guineensis, Jacq)*. Santo Domingo: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- González-Cárdenas, A. (2016). Oil Palm Agro-industri in América. *Palmas*, 37(Especial Tomo II), 215-228.
- Ibáñez, J., & García, A. (2002). *Diversidad: Biodiversida Edáfica y Geodiversidad* (Vol. IX). IICA. Obtenido de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/97637/1/lba%c3%b1ez.Edafologia2002.pdf>
- INEC. (2019). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. Quito: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC).
- Khalid, H., Chan, K., & Ahmad, T. (2010). Reciclaje de nutrientes y manejo de residuos durante la resiembra de palma de aceite en Malasia. *PALMAS*, 31(Especial), 234-254.
- Lavelle, P. (1997). Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Adv. Ecol. Res.*, 93-132.
- Lavelle, P., & Spain, A. (2001). *Soil Ecology*. Springer. doi:10.1007/0-306-48162-6
- Luke, S., Purnomo, D., Advento, A., Aryawan, A., Nim, M., & Pikstein, R. (2019). Effects of understory vegetation management on plant communities in oil palm plantations in Sumatra, Indonesia. *Front. For. Glob. Change*, III(33), <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00033>.
- Magurran, A. (2003). *Measuring Biological Diversity*. USA: Blackwell Publishing.
- Mena. (7 de Octubre de 2020). *Indosnesia y Malasia concentral el 84% de la producción mundial de aceite de palma*. Obtenido de Statista: <https://es.statista.com/>
- Moran, J., & Alfaro, F. (2015). *Diversidad de macrofauna edáfica en dos sistemas de manejo de Moringa oleifera Lam. (Marango) en la finca Santa Rosa, UNA*. . Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.

- Moreira, F., Huising, J., & Bignell, D. (2012). *Manual de biología de suelos tropicales: Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo* (Primera ed.). Instituto Nacional de Ecología.
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad* (Vol. 1). Zaragoza: M&T-Manuales y Tesis SEA.
- Munévar, F. (1998). Problemática de los suelos cultivados con palam de aceite en Colombia. *PALMAS*, 19(Especial), 218-228.
- Nambuya, A., Sekweea, C., Nkwiine, C., & Wetala, P. (2013). Abundance and ecological functional categories of soil macrofauna as indicators of soil chemical properties status in oil palm plantations in Bugala island Kalangala District, Uganda . *Joint Proceedings of the 27th Soil Science Society of East Africa and the 6th African Soil Science Society Conference* , 709-716.
- Núñez, D. (2019). *Comparación de la macrofauna del suelo en agro sistemas de plátano en Santo Domingo y El Carmen*. Santo Domingo: Universidad UTE.
- Palacios, J., Mejía, B., & Oyarzabal, A. (2014). *Guía ilustrada para los artrópodos edáficos* (Primera ed.). México: UNAM, Facultad de Ciencias.
- Pardo, L., & Ocampo, N. (2019). Contexto actual del impacto ambiental de la palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas*, 40(3), 79-88.
- Pashanasi, B. (2001). Estudio Cuantitativo de la Macrofauna del Suelo en Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en la Amozonía Peruana. *Folia Amazónica*(12), 75-97.
- Patiño, M., Espinosa, J., Rueda, D., Gallardo, V., & Gooty, J. (2017). Efect of the conventional and organic fertilization on fruting efficiency and on evolution of the edaphic macrofauna in banana cultivars. *Asian Jr. of Microbiol. Biotech. Env. Sc.*, 19(3), 1-8.
- Potapov, A., Klarner, B., Sandmann, D., Widyastuti, R., & Scheu, S. (2019). Linking size spectrum, energy flux and trophic multifunctionality in soil food webs of tropical land-use systems. *Jr. Anim Ecol.*, 1845-1859. doi:10.1111/1365-2656.13027

- Raygada, R. (2005). *Manual Técnico apra el Cultivo de Palma Aceitera*. PRODATU; DEVIDA.
- Rochmyaningsih, D. (2019). Making peace with oil palm. *Science*, 365(6449), 112-115. doi:10.1126/science.365.6449.112
- Ruiz, N., Lavelle, P., & Jiménez, J. (2008). *Soil Macrofauna Field Manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Sabrina, D., Hanafi, M., Nor Azwady, A., & Mahmud, T. (2009). Earthworm Populations and Cast Properties in the Soils of. *Malaysian Journal of Soil Science*, 13, 29-42.
- Stechauner, R., & Mandriñán, M. (Junio de 2013). Interacción macrofauna-microbiota: Efectos de la transformación de residuos de cosecha sobre la actividad de B-glucosidasa edáfica. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 184-1995.
- TECHNOSERVE. (2009). *Manual Técnico de Palma Africana*. TECHNOSERVE. Obtenido de <https://palma.webcindario.com/manualpalma.pdf>
- Teuscher, M., Gérard, A., Brose, U., Buchori, D., Clough, Y., Ehbrech, M., & al., e. (2016). Experimental biodiversity enrichment in oil-palm-dominated landscapes in Indonesia. *Front. Plant Sci.*, 7(1538). doi:<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01538>
- USDA. (1996). *Indicatod for Soil Quality Evaluation*. USDA Natural Resources Conservation.
- USDA. (Enero de 2011). Carbon to Nitrogen Ratios in Cropping System. *Soils USDA*. Obtenido de soils.usda.gov/sqi
- Vera, A., D Congo, C., Velasteguí, F., & Mejía, M. (2018). Importancia de los Sistemas Silvopastoriles en el Desarrollo de la Macrofauna Terrestre. *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias*.