BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Instituto de Ciencias
Centro de Agroecología

Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA MACROFAUNA EDÁFICA (ARTHROPODA Y OLIGOCHAETA) EN BOSQUE DE PINO Y AGROECOSISTEMAS DEL PARQUE NACIONAL LA MALINCHE, TLAXCALA

TESIS

Que para obtener el grado de
Maestra en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

Presenta

BIÓL. KARINA NAVARRO BELLO

Directora de la Tesis

DRA. GABRIELA CERVANTES OLVERA

Co-director de la Tesis

DR. AGUSTÍN ARAGÓN GARCÍA

Asesor interno

DR. DIONICIO JUÁREZ RAMÓN

Asesora externa

DRA. ISABELLE BAROIS

Puebla, Pue. Enero, 2023

La presente tesis, titulada: **"Contribución al conocimiento de la macrofauna edáfica (Arthropoda y Oligochaeta) en bosque de pino y agroecosistemas del Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala"**, realizada por la alumna **Biól. Karina Navarro Bello,** bajo la dirección del Comité Tutoral indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN
MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

COMITÉ TUTORIAL:

DIRECTORA: _____
Dra. Gabriela Cervantes Olvera

CO-DIRECTOR: _____
Dr. Agustín Aragón García

ASESOR: _____
Dr. Dionicio Juárez Ramón

ASESORA EXTERNA: _____
Dra. Isabelle Barois Boullard

REVISORA EXTERNA: _____
Dra. Sheila Ariany Uribe López

Puebla, Pue., enero de 2023.

Posgrado en Manejo Sostenible de Agroecosistemas
Instituto de Ciencias (ICUAP)
Edificio VAL 1, Km 1.7 carretera a
San Baltazar Tetela, C.P. 72960,
San Pedro Zacachimalpa, Puebla
222 229 55 00 Ext. 1302
masagro@correo.buap.mx

AGREDECIMIENTOS

Al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado durante la realización de este proyecto.

Al Centro de Agroecologia (CENAGRO) y la Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas por la formación académica y compartir sus conocimientos y el financiamiento para la el trabajo de campo.

A la Dra. Gabriela Cervantes Olvera por compartir sus conocimientos, su apoyo en la identificación taxonómica y su orientación, además de ser una guía y por su excelente calidad humana.

Al Dr. Agustín Aragón García por su apoyo en el trabajo de campo, la identificación taxonómica y las asesorias, además de hacer los muestreos más agradables con su sentido del humor.

Al Dr. Dionicio Juárez Ramón por compartir sus conocimientos, por escuchar, por sus valiosas aportaciones y por el prestamo del laboratorio.

A la Dra. Isabelle Barois por sus valiosas revisiones que han enriquecido de forma significativa esta investigación.

A los voluntarios por su apoyo y disposición en las prácticas de campo.

A mi familia por escucharme y ser el soporte para concluir esta etapa.

A mis compañeras de clase por sus palabras de aliento y su apoyo.

DEDICATORIA

A *María Eugenia Soto Domínguez* y *Marcelino A. Tito Bello Hernández*

Por su apoyo incondicional en mis estudios, por ser mis padres, por criarme con valores, comprensión y amor, por su valentia y por todo lo que han hecho para que seamos felices, los amo con todo mi corazón.

A *Marcelino Ángeles González*

Por ser el pilar que me soporto durante toda esta etapa, por escucharme y aconsejarme infinidad de veces, por el apoyo para poder viajar a Puebla y por todo lo que implicaba el trabajo de campo, por tu comprensión y amor.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN 1

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

III. MARCO TEÓRICO 5

3.1 Biodiversidad edáfica 5

3.2 Clasificación de la fauna edáfica 6

3.3 Categorías ecológicas 8

3.4 Grupos funcionales 9

3.5 Ingenieros del ecosistema 10

3.6 Transformadores de hojarasca 10

3.7 Depredadores 10

3.8 Rizófagos o fitófagos 11

3.9 La importancia de la macrofauna edáfica 11

IV. ANTECEDENTES 12

V. JUSTIFICACIÓN 16

VI. OBJETIVOS 17

VII. HIPÓTESIS 17

VIII. METODOLOGÍA 18

8.1 Zona de estudio 18

8.2 Muestreo de macrofauna 21

8.3 Procesamiento de las muestras 21

IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 23

9. Macrofauna 23

9.2 Oligoquetofauna 30

9.2.1 Composición 30
9.2.2 Abundancia 31
9.2.3 Densidad promedio 32
9.2.4 Biomasa promedio 33
9.3 Artropodofauna 38
9.3.1 Composición 38
9.3.2 Abundancia 43
9.3.3 Densidad promedio 44
9.3.4 Biomasa promedio 46
X. CONCLUSIONES 48
XI. LITERATURA CITADA 49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ubicación de los sitios de muestreo..... 20
Cuadro 2. Promedio de los datos ambientales obtenidos en campo para el sitio bosque de pino y agroecosistema en el Parque Nacional La Malinche. 23
Cuadro 4. Listado de las especies de oligoquetos registradas por sitios de estudio y su origen en el Parque Nacional La Malinche. 31
Cuadro 5. Listado de las morfoespecies de Arthropoda registradas en el Parque Nacional La Malinche 41
Cuadro 6. Abundancia, densidad promedio y biomasa promedio registrada de los grupos taxonómicos muestreados en el Parque Nacional La Malinche. 46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de microorganismos y fauna del suelo por tamaño (Swift et al., 1979). 6
Figura 2. Límites del Parque Nacional La Malinche, abarcando los estados de Puebla y Tlaxcala y la ubicación de los sitios de muestreo que comprende el bosque de pino y el agroecosistema. 19
Figura 3. Proporción de la abundancia de los taxa registrados durante todo el estudio. 24
Figura 4. Proporción de la abundancia de los taxa registrados durante todo el estudio. 25
Figura 5. Densidad de organismos de macrofauna del suelo (individuos m^{-2}) de los ecosistemas y el tiempo de muestreo. 26
Figura 6. Balance de agua estimada con datos de la estación climatológica Acxotla del Monte (29161), municipio Teolocholco, Tlax. Estación más cercana a la zona de estudio, ubicada a 12 km de distancia y a 2443 msnm. (Fuente: datos del Servicio Meteorológico Nacional, analizados por Dr. Dionicio Juárez Ramón). 27
Figura 7. Abundancia de la macrofauna por muestreo en el sitio bosque de pino del Parque Nacional La Malinche (8 monolitos de 30x30x30 cm). 28
Figura 8. Abundancia de la macrofauna por muestreo en el sitio agroecosistema del Parque Nacional La Malinche (8 monolitos de 30x30x30 cm). 28
Figura 9. Densidad de organismos de macrofauna del suelo por estratos, presentes en el ecosistema bosque de pino y agroecosistemas de cultivos anuales en el Parque Nacional La Malinche. 29
Figura 10. Proporción de la abundancia registrada en bosque de pino y agroecosistema del Parque Nacional La Malinche. 32
Figura 11. Proporción de la biomasa promedio registrada en los sitios en estudio dentro del Parque Nacional La Malinche. 34
Figura 12. Dinámica de la densidad y biomasa promedio de las lombrices de tierra, basado en una proporción a partir del valor máximo del sitio bosque. 35

Figura 13. Biomasa de especies de lombrices de tierra nativas y exóticas y su distribución en el estrato. 36
Figura 14. Proporción de la abundancia registrada en los sitios bosque de pino y agroecosistema del Parque Nacional La Malinche..... 44
Figura 15. Proporción de la biomasa promedio registrada en los sitios en estudio del Parque Nacional La Malinche. 45

RESUMEN

El presente trabajo es una contribución al conocimiento de la macrofauna edáfica en el Parque Nacional La Malinche, se muestrearon los grupos de Oligoquetos y Artrópodos de un ecosistema natural de bosque de pino y un agroecosistema libre de agroquímicos. Los muestreos se realizaron de mayo a noviembre del 2021, empleando el método TSBF modificado (30 x 30 cm por lado y 30 cm de profundidad). En total se realizaron 80 monolitos (40 en cada sitio). Además de identificar las especies presentes se obtuvieron las variables de abundancia, densidad promedio y biomasa promedio. Para la oligoquetofauna se encontraron siete especies de lombrices de tierra, dos especies nativas y cinco exóticas. Las especies nativas pertenecen a la familia Acanthodrilidae (*Zapotecia amecamecae, Protozapotecia acaxetlensis*), mientras las exóticas a la familia Lumbricidae (*Aporrectodea trapezoides, Dendrobaena octaedra, Dendrodrilus rubidus, Lumbricus rubellus, Octalasion tyrtaeum).* Las especies nativas se hallaron exclusivamente en el bosque de pino y estuvieron ausentes en el agroecosistema. Esto indica que las nativas están amenazadas por el cambio de uso de suelo.

Respecto al grupo de los artrópodos se registraron 67 morfoespecies pertenecientes a 27 familias y a los grupos taxonómicos Arachnida, Chilopoda, Diplopoda e Insecta. La biomasa promedio estuvo predominada por las lombrices en el sitio de bosque de pino y en el agroecosistema por larvas de melolóntidos, estas larvas pueden tener hábitos rizófagos, saprófagos o facultativos, además de formar galerías dentro del suelo por lo que se le considera un grupo relevante.

La abundancia y diversidad de la macrofauna del suelo en el agroecosistema obtuvo valores bajos. Se concluye que es entonces, necesario realizar acciones basadas en el manejo agroecológico mediante la colocación de cercas y corredores de pinos y otras especies locales para garantizar la presencia de hojarasca, aumentar la humedad del suelo y mantener las propiedades químicas óptimas del

suelo para que las lombrices nativas puedan habitar los agroecosistemas asociados al bosque y la artropodofauna desempeñe funciones importantes como el control de plagas y enfermedades.

Abstract

This work is a contribution to the knowledge of the edaphic macrofauna in La Malinche National Park, the groups of Oligochaetes and Arthropods of a natural ecosystem of pine forest and an agroecosystem free of agrochemicals were sampled. The samplings were made from May to November 2021. The sampling using the modified TSBF method (30 x 30 cm per side and 30 cm deep). In total, 80 monoliths were made (40 at each site). In addition to identifying the species present, the variables of abundance, average density, and average biomass were obtained. For the oligochaetofauna, seven species of earthworms were found, two native species and five exotic onesa. The native species belong to the Acanthodrilidae *family (Zapotecia amecamecae, Protozapotecia acaxetlensis)*, while the exotic ones belong to the Lumbricidae family *(Aporectodea trapezoides, Dendrobaena octaedra, Dendrodrilus rubidus, Lumbricus rubellus, Octalasion tyrtaeum)*. The native species were found exclusively in the pine forest and were absent in the agroecosystem. This indicates that the natives are threatened by the change in land use.

Regarding the group of arthropods, 67 morphospecies were classiintoed in 27 f,amilies and the taxonomic groups Arachnida, Chilopoda, D,iplopoda and Insecta were recorded. The average biomass was dominated by earthworms in the pine forest site ann the agroecosystem by melolonthidae larvae, these larvae can have rhizophagous, saprophagous ,or facultative habits, in addition to forming galleries within the soil, which is why it is considered a oup relevant.

The abundance and diversity of the soil macrofauna in the agroecosystem is much less than in the forest. Thus is concluded that it is necessary to carry out actions based on agroecological management through the placement of fences and pine corridors and other local species to guarantee the presence of leaf litter, increase soil moisture and maintain optimal chemical properties of the soil so that native earthworms can inhabit the agroecosystems associated with the forest and the arthropod fauna perform important functions such as pest and disease control.

I. INTRODUCCIÓN

La organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020) ha considerado a los suelos como uno de los principales reservorios de la biodiversidad. Se estima que alberga el 25% de la biodiversidad del planeta y más del 40% de los organismos terrestres están asociados al suelo durante alguna parte de su ciclo de vida. Guilland *et al.* (2018) han considerado a la biota edáfica como la responsable de procesos ecológicos importantes que suceden en los suelos como son la regulación del ciclo de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica, la fijación de nitrógeno, la modificación de la estructura del suelo, la dinámica de nutrientes en la rizosfera, el control de plagas y enfermedades, entre otros. Sin embargo, cuando se realizan cambios de uso de suelo, donde los bosques son transformados hacia un suelo cultivado se modifican las características de las comunidades edáficas y cambian las propiedades físicas y químicas del suelo. La conversión de un bosque para la agricultura o el pastoreo homogenizan las propiedades del suelo y las comunidades de macroinvertebrados (De la Rosa y Negrete, 2012).

En la comunidad de la macrofauna edáfica existen organismos que desempeñan funciones clave en el ecosistema y en la transformación de la cobertura vegetal para otras actividades como la agricultura y la ganadería, son susceptibles a disminuir sus poblaciones, afectando los servicios que brindan al suelo. La importancia de diversos grupos ha sido registrada en diferentes investigaciones para inferir sobre la calidad del suelo e incluso son utilizados algunos organismos como indicadores de la calidad de los suelos, como es el caso de las lombrices (Tapia *et al.,* 2016). La macrofauna es un indicador útil de la salud del suelo y del estado de perturbación debido a que son sensibles a los cambios en el ecosistema.

El Parque Nacional la Malinche es una área que alberga una gran diversidad biológica, a pesar de ello, son escasas las investigaciones realizadas, en específico de la macrofauna, por lo cual, la presente investigación es un área de oportunidad

para conocer lo que sucede desde una perspectiva biológica en sus suelos, aunado a esto, en el área se presentan diferentes usos de suelo siendo la agricultura la actividad que ocupa la mayor parte del territorio dentro del área natural protegida, según reporta la CONANP (2013), por lo que se vuelve fundamental conocer el estado de las comunidades de la macrofauna de las zonas agrícolas, pero también en otros ecosistemas relevantes como son los bosques de pino.

El presente proyecto busca determinar la composición, abundancia, densidad y biomasa de la macrofauna (Arthropoda y Oligochaeta) del suelo en el bosque de pino y agroecosistemas en el Parque Nacional La Malinche.

En la artropodofauna uno de los grupos con mayor representatividad en la abundancia, densidad y biomasa son los coleópteros de la familia Melolonthidae tanto en ecosistema de pino como en agroecosistema, por lo que se le considera un grupo clave en la biota edáfica.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Situada dentro del Eje Neovolcánico Transversal se encuentra la quinta montaña más alta de México, La Malinche o Matlalcueyatl, debido a su alto valor biológico y sociocultural se decretó como un Área Natural Protegida. El Parque Nacional La Malinche (PNM) alberga bosques de pino, oyamel y encino junto a una gran biodiversidad que provee de servicios ambientales a las poblaciones de Puebla y Tlaxcala (CONANP, 2013). Las actividades humanas como la agricultura, ganadería, turismo y aprovechamiento de los recursos maderables representan una fuente económica para los habitantes, sin embargo, dichas acciones han propiciado el deterioro de la biodiversidad.

La agricultura es la actividad de mayor extensión territorial abarcando el 53% del Parque Nacional (CONANP, 2013) donde se establecen cultivos de maíz, haba, trigo, frijol, papa, avena y calabaza. Dentro del manejo agrícola se realizan actividades que impactan en el recurso suelos de forma biológica, bioquímica y física.

La biodiversidad edáfica está conformada por diferentes grupos de organismos, desde las bacterias hasta vertebrados de gran tamaño. La vida del suelo ha sido poco estudiada, sin embargo, se estima que alberga más del 25% de la biodiversidad del planeta (FAO, 2020).

La biodiversidad del suelo brinda de importantes servicios ambientales que generan condiciones edáficas favorables para establecer cultivos de interés humana, además en ecosistemas naturales es el soporte y un componente vital para de su funcionamiento, en términos generales estos procesos pueden ser agrupados en funciones como: descomposición de la materia orgánica, ciclo de nutrientes, formación de galerías dentro del suelo y control de enfermedades y plagas (Swift *et al.,* 2012). Dentro del manejo que se le da al suelo para la

preparación de la siembra se realizan prácticas que podrían estar impactando a la biota, afectando a dichas funciones y por tanto afectando la salud de los cultivos.

La macrofauna edáfica (fauna con un tamaño mayor a 2 mm) es parte de una gran red de organismos edáficos que han sido poco estudiados en México, García *et al.* (2017) refiere que las investigaciones se han centrado mayoritariamente en inventarios taxonómicos y los proyectos que abarcan tópicos ecológicos son mínimos. En el área no se han registrado hasta este momento investigaciones específicas sobre macrofauna edáfica.

Estudiar la composición de la macrofauna en distintos ambientes es, por lo tanto, un importante punto de partida para entender sus efectos potenciales en el medio edáfico y en la productividad vegetal (Brown *et al.,* 2001). Por todo lo anterior, ampliar el conocimiento de la macrofauna en bosques y agroecosistemas del PNM es relevante para conocer cuáles son las especies o grupos taxonómicos presentes, una estimación de su densidad promedio y biomasa promedio, y tener una perspectiva de su funcionamiento en estos sitios.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Biodiversidad edáfica

La FAO (2020) define la biodiversidad del suelo como la variedad de la vida subterránea a partir de genes y especies, las comunidades que forman, así como el complejo ecológico al que contribuyen y pertenecen, desde microhábitats en el suelo hasta paisajes. Esta definición no solo incluye la variabilidad de los organismos en un sentido taxonómico de número de especies, sino que también comprende la diversidad genética, funcional, estructural y trófica.

Los suelos son considerados entre los hábitats que poseen mayor diversidad biológica en la tierra, se ha estimado que un gramo de suelo contiene mil millones de células de bacterias, cientos de taxa y más de doscientos metros de hifas de hongos y un amplio rango de organismos incluidos nemátodos, lombrices y artrópodos (FAO, 2020). Debido a la gran variabilidad de organismos que habitan en el suelo, se han establecido diferentes criterios para su clasificación y estudio abarcando ciertos grupos taxonómicos.

La fauna del suelo o edáfica está constituida por organismos que pasan toda o una parte de su vida sobre la superficie inmediata del suelo, en los troncos podridos, hojarasca superficial y bajo la superficie de la tierra, incluyendo desde animales microscópicos hasta vertebrados de talla mediana, como las tuzas por mencionar alguno (Brown *et al.,* 2001). De acuerdo con Palacios *et al.* (2014) podrían clasificarse en la permanencia en el suelo, tamaño de cuerpo, régimen alimenticio, y otras características como la movilidad en las diferentes capas del suelo y su adaptación o preferencia del suelo.

3.2 Clasificación de la fauna edáfica

Una de las clasificaciones más utilizadas dentro de los estudios de la fauna del suelo se basa en el tamaño de los organismos que se agrupan en cuatro categorías generales para facilitar su estudio (Fig. 1).

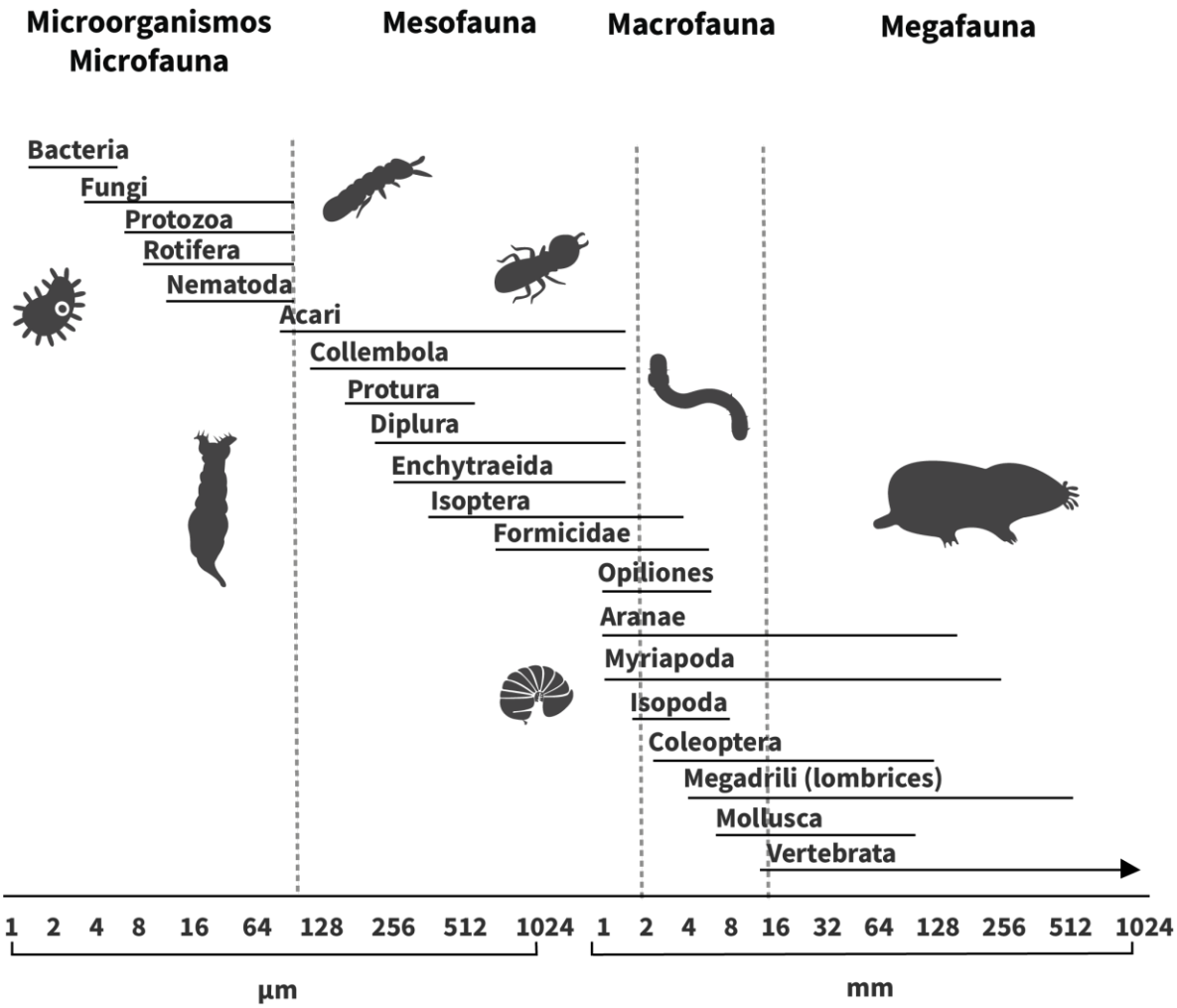


Figura 1. Clasificación de microorganismos y fauna del suelo por tamaño (Swift *et al.,* 1979).

- Microfauna: se denomina microfauna a aquellos organismos que tienen tamaño menor a 0.1 mm, dentro del grupo se encuentran los protozoarios (Protozoa), nemátodos (Nematoda), rotíferos (Rotifera) y tardígrados (Tardigrada). Estos organismos se caracterizan por necesitar poros con

suficiente humedad en las partículas del suelo o los agregados para su distribución. Tienen un impacto limitado en la estructura del suelo, sin embargo, afectan la distribución de otros seres como los microorganismos, además participan en el ciclo de nutrientes a través de la rotación de la biomasa microbiana (Nielsen, 2019).

- Mesofauna: está caracterizada como la fauna de un tamaño entre 0.1 y 2.0 mm, habita en los poros del suelo y tiene un impacto limitado en la estructura del suelo, los grupos taxonómicos representativos son ácaros (Acari), colémbolos (Collembola), proturos (Protura), dipluros (Diplura), sínfilos (Symphyla), enquitreidos (Enchytraeida), y pseudoescorpiones (Pseudoescorpionida). La mesofauna se distribuye a través de los poros llenos de aire, al igual que la microfauna tiene un mínimo impacto en la estructura del suelo. La mesofauna representa una gama muy amplia de estrategias de vida y rasgos funcionales, pero como grupo contribuyen significativamente al ciclo del carbono y de nutrientes, por la fragmentación de la materia orgánica, la disminución de plagas y enfermedades a través de las redes tróficas y en forma mínima ser ingenieros del ecosistema (Nielsen, 2019).

- Macrofauna: el grupo comprende la fauna de 2 mm a 20 cm, es el grupo de interés en el presente estudio. Los organismos que lo componen son las lombrices (Annelida), termitas (Isoptera), hormigas (Formicidae), escarabajos (Coleoptera), milpiés (Diplopodos), ciempiés (Chilopoda), entre otros. Asimismo, son conocidos como ingenieros del ecosistema tras modificar la estructura del suelo y contribuir a los procesos de descomposición, infiltración, control de plagas y enfermedades e intervenir en la dinámica de otras poblaciones de organismos (Nielsen, 2019).

- Megafauna: son organismos mayores a 20 cm y está representada por mamíferos, reptiles y anfibios los cuales crean una heterogeneidad espacial en la superficie, a través del establecimiento de madrigueras (FAO, 2020). Estos animales poseen una morfología adaptada a excavar y vivir debajo del suelo (Orgiazzi *et al.,* 2016).

3.3 Categorías ecológicas

La macrofauna puede además subdividirse de acuerdo con su alimentación y la profundidad en la que habitan, en organismos epígeos, endógeos y anécicos (Lavelle, 1997), cada categoría presenta un papel diferente en el funcionamiento del ecosistema edáfico, aunque miembros de una misma categoría (ejemplo, los endógeos) pueden también tener efectos distintos sobre el suelo (compactantes y descompactantes) (Blanchart *et al.,* 1999). De acuerdo con Brown *et al.* (2001) las categorías son las siguientes:

- Epigeos: los organismos epígeos viven y comen en la superficie del suelo; la mayor parte se alimentan de la hojarasca (macroartrópodos detritívoros, pequeñas lombrices de tierra pigmentadas), otros comen plantas vivas (larvas de mariposas, caracoles) y otros son predadores del resto de fauna (arañas, hormigas, ciempiés y algunos escarabajos). La función primordial de los epigeos es fragmentar la hojarasca y promover su descomposición.

- Endógeos: representados principalmente por las lombrices de tierra geófagas, las termitas, larvas de escarabajos y otros insectos, viven en el suelo y se alimentan de materia orgánica o de raíces (vivas o muertas). Debido a la baja cantidad y calidad de los recursos nutritivos del suelo, suelen seleccionar partículas más ricas en carbono y tienen que ingerir grandes cantidades de suelo para alimentarse, produciendo consecuentemente amplias galerías y abundantes

excretas de diferentes tamaños y composiciones físico-químicas y biológicas. Las galerías pueden llegar a ser muy profundas y representar una parte importante de la macroporosidad del suelo. Las excretas pueden estar depositadas dentro del suelo o en la superficie y a veces son concentradas en forma de nidos (termitas y hormigas).

- Anécicos: representados por las lombrices de tierra, las termitas y las hormigas, se alimentan principalmente de la hojarasca de la superficie (también pueden ingerir estiércol de ganado o excretas de otros invertebrados), pero viven en el suelo formando redes semi-permanentes de galerías y a veces nidos como vivienda y lugar para acumular recursos. Para construirlas, ingieren o transportan grandes cantidades de suelo que alteran la agregación del suelo y producen galerías abiertas hacia la superficie del suelo que promueven la oxigenación e infiltración del agua. Sin embargo, el papel principal de los anécicos está en la reubicación de la hojarasca, cambiando la dinámica de su descomposición y su distribución espacial.

3.4 Grupos funcionales

El concepto de grupos funcionales de la fauna edáfica normalmente está definido por su criterio trófico, pero también por su función de la respuesta fisiológica, morfológica y de comportamiento bioquímico o ambiental y, de alguna manera, relacionado con sus características taxonómicas, no existe acuerdo preciso en la definición de grupos funcionales, ni de cuantos de estos grupos deberán definirse dentro de un ambiente de suelo típico, por lo tanto, el concepto puede modificarse en función al propósito analítico necesario (Swift *et al.,* 2012). En el presente estudio se consideran como grupos funcionales los ingenieros del ecosistema, transformadores de hojarasca, depredadores y rizófagos.

3.5 Ingenieros del ecosistema

De acuerdo con Lavelle *et al.* (2016) los ingenieros del ecosistema podrían definirse como organismos que están directa o indirectamente regulando la disponibilidad de recursos para otras especies, causando cambios en el estado físico, bioquímico y biológico. Modifican, mantienen y crean hábitats y en este grupo se pueden ubicar organismos como hormigas, termitas, lombrices, otros invertebrados y vertebrados. Algunos individuos o grupos de la macrofauna (lombrices de tierra, termitas y hormigas) pueden actuar como ingenieros del ecosistema al realizar cambios físicos en el suelo que controlan la disponibilidad de los recursos para otros organismos edáficos, con su actividad los ingenieros crean estructuras físicas biogénicas que ejercen un efecto regulador sobre los organismos menores, a través de: la competencia por los recursos, principalmente materia orgánica; la activación de la microbiota edáfica, vía mutualismos y el “priming effect” y su influencia en el ciclo del carbono y la disponibilidad de nutrientes.

3.6 Transformadores de hojarasca

En esta categoría pueden ubicarse invertebrados que se alimentan de desechos orgánicos originados por trituradores de este material, haciéndolo más accesible para los descomponedores o favoreciendo el crecimiento microbiano de excretas en forma de gránulos. Esta actividad puede ocurrir en varias escalas espaciales (Swift *et al.,* 2012).

3.7 Depredadores

Los depredadores son animales carnívoros que se alimentan de otros organismos y regulan a los herbívoros, ingenieros del ecosistema, transformadores de hojarasca etc. incluye varias familias de escarabajos, hormigas, ciempiés, arácnidos y escorpiones (Brown *et al.,* 2001).

3.8 Rizófagos o fitófagos

Se alimentan de plantas vivas de la raíz o de las partes sobre del suelo. Dentro de este grupo destacan las larvas de coleóptero. Las larvas de Melolonthidae edafícolas se conocen algunas como especies rizófagas, saprófagas y facultativas, también existen algunas especies asociadas a hormigas y termitas, las cuales ocupan niveles tróficos de consumidores primarios y secundarios, productores secundarios y degradadores. Las especies rizófagas se han encontrado asociadas con representantes de 50 familias de Angiospermas y Gimnospermas (Morón, 2001).

Dentro de las larvas rizófagas destacan el conjunto de especies que se denominan “complejo gallina ciega” que generan impactos económicos en diferentes cultivos, en México está integrado por casi 600 especies ubicadas en diferentes géneros (Morón, 1993). Las larvas saprófagas se alimentan de materia orgánica en descomposición mientras que las facultativas pueden alimentarse de materia orgánica en descomposición o de la raíz de las plantas.

3.9 La importancia de la macrofauna edáfica

La macrofauna edáfica ha sido utilizada en diversas investigaciones como un indicador del estado de perturbación del suelo y de la salud debido a su sensibilidad a las propiedades del suelo y al manejo humano, la versatilidad a la perturbación, significancia estadística, abundancia, y factibilidad de su muestreo. La abundancia, biomasa, grupos funcionales y diversidad pueden usarse como indicadores para monitorear cambios cuantitativos y cualitativos del ambiente afectados por el uso del suelo, y en el caso de las lombrices pueden aportar información sobre el estado de perturbación de un ambiente al determinar la presencia de especies nativas y exóticas (Huerta *et al.,* 2011).

IV. ANTECEDENTES

La macrofauna edáfica ha sido objeto de una gran cantidad de investigaciones a escala global Lavelle *et al.* (2022) han estudiado diferentes tipos de ecosistemas y agroecosistemas en 41 países con diferentes altitudes, temperaturas promedios y datos de 1980 a 2018. En los resultados obtenidos se observaron patrones de disminución significativa de la abundancia de la macrofauna del suelo en zonas con agricultura y concluyen que la presencia de componentes arbóreos podría aminorar el efecto de la disminución de la abundancia de los macroinvertebrados durante esta actividad.

En México se ha estudiado a la macrofauna edáfica y entre los estudios destacados se encuentra el trabajo de Brown *et al.* (2001) donde se realizaron varios muestreos en el estado de Veracruz y en el este y sureste del país utilizando el método TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), en sitios como pastizales, bosques, selvas, cultivos anuales, cítricos y cafetales. En los resultados obtuvieron un predominio de las lombrices de tierra en cuanto la biomasa, mientras que las hormigas predominaron en densidad. Las milpas fueron los sitios con menor biomasa (< 15 g m^{-2}), seguido de los bosques (25 g m^{-2}) y los demás ecosistemas obtuvieron valores mayores de 35 g m^{-2}. En cuanto a la densidad el sitio de caña de azúcar obtuvo un promedio de 3000 individuos m^{-2} y en los demás ambientes fue menor a 1600 individuos m^{-2}. Los autores finalizan con recomendaciones para el estudio de la macrofauna en México.

Diversos investigadores (Brown *et al.,* 2001; Brown *et al.,* 2004; Negrete-Yankelevich *et al.,* 2020; García *et al.,* 2017; Barois *et al.,* 1998) han evaluado la diversidad de la macrofauna en diferentes sistemas para poder establecer estrategias de manejo, conocer el estado de perturbación de diferentes ecosistemas, detectar las funcionalidades que aporta esta comunidad y conocer cómo pueden ser indicadores de la calidad de los suelos.

Por parte de la oligoquetofauna se encuentran los trabajos de Fragoso (2001); Fragoso y Rojas (2014) donde se hace una revisión a las especies presentes en el país registrando 102 especies (51 nativas y 51 exóticas), que sumado a las especies nuevas descritas posteriormente (Cervantes *et al.* 2016; Cervantes y Fragoso, 2018; Fragoso y Rojas, 2018; Fragoso *et al.,* 2019) dan un total de 57 especies nativas y 51 exóticas. Asimismo, Fragoso y Rojas (2014) observaron que la distribución de las especies nativas se centra en ecosistemas naturales y las especies exóticas se registran en ambientes perturbados y de igual forma, en bosques templados con ciertos grados de conservación. Además, parte de estos estudios han ubicado a las especies en categorías ecológicas (epigeas, anécicas, endógeas) y aportan un registro de las especies de lombrices de tierra por estado del país.

Respecto al estudio de las lombrices de tierra en los ecosistemas de pino se encuentran trabajos como el de Fragoso (2005) en la Reserva de la Biosfera el Cielo, en el estado de Tamaulipas, donde se hace un registro de las especies que se distribuyen en la zona además de aportar un diagnosis para identificar a los organismos para posteriores investigaciones.

En agroecosistemas, se han desarrollado investigaciones con la oligoquetofauna en sistemas agroecológicos de sistemas intercalados de milpa con frutales, en Puebla y Oaxaca (Juárez y Fragoso, 2014), registrando variables como la abundancia, biomasa y su relación con factores como la humedad, intensificación agrícola, manejo antropogénico de materiales orgánicos. Los autores concluyen que en los sitios de estudio no se distinguieron como un refugio para la preservación de las comunidades de las lombrices de tierra, a pesar de mantener niveles bajos de remoción del suelo y de su condición agroforestal.

Entre las investigaciones de la artropodofauna del suelo en México, específicamente para los coleópteros, Morón (2001) llevó a cabo una revisión sobre las larvas edafícolas del grupo de los Melolonthidae, destacando su importancia en

algunos ecosistemas, debido a que las poblaciones de larvas que se desarrollan en el suelo pueden alcanzar densidades y biomasa elevadas, ya que existen larvas de entre 3 y 90 mm de longitud, con un promedio de 20 mm y un peso fresco que va de 0.05 a 27.0 g, aportando gran parte de la biomasa de la macrofauna. Su actividad es importante ya que puede presentar ciclos de vida anuales o bianuales, lo que significa que están activas dentro del suelo, de seis a ocho meses por año. Las larvas de los Melolonthidae tienen gran capacidad para excavar y desplazarse de forma vertical u horizontal abriendo galerías para permitir el paso del agua y el aire. De acuerdo con el autor, por su alto nivel de consumo se necesitan de 45 a 80 veces su peso en substrato alimentario para desarrollarse, afectando a los componentes de la rizosfera y generando excrementos con gran cantidad de bacterias o productos nitrogenados de fácil asimilación. Prácticas como el aclareo del bosque, la apertura de terrenos al cultivo de gramíneas y el monocultivo extensivo de gramíneas tecnificado y el abandono de parcelas por más de tres años, han favorecido el establecimiento y la dispersión de larvas rizófagas de especies nativas de Melolonthidae.

En el Parque Nacional La Malinche destaca el trabajo de García de Jesús *et al.* (2013), en el cual, comunidades de pino, pino-encino, oyamel, pastizal inducido y agricultura de temporal, en una altitud de 2533 a 3502 msnm, se reportaron 36 especies pertenecientes a nueve subfamilias de Scarabaeoidea, además de ocho especies de larvas de Melolonthidae, asimismo se reporta la temporalidad, tipo de vegetación, altitud, microhábitat y otros registros de las especies colectadas. La subfamilia con mayor riqueza de especies fue Melolonthinae con 30.5%, Cetoniinae, Ochodaeinae y Troginae fueron las subfamilias con menor riqueza representando solo el 2.8% del total. La especie más abundante fue *Macrodactylus nigripes,* la cual fue equivalente al 21.8% de la muestra, seguida de *Phyllophaga rugithorax,* con el 15.6%. Las larvas encontradas en el área de estudio fueron en su totalidad especies de Melolonthidae, siendo *Phyllophaga* y *Orizabus* los géneros colectados. Asi mismo, se concluye que las especies de mayor importancia ecológica en el estudio fueron *Xyloryctes ensifer* y *Orizabus brevicollis,* debido a su abundancia local y al

tamaño de sus larvas, que consumen hojarasca en descomposición y producen gran cantidad de excretas enriquecidas con compuestos nitrogenados.

V. JUSTIFICACIÓN

La macrofauna del suelo es un grupo de organismos que realiza importantes funciones en los ecosistemas como la descomposición de la materia orgánica, modifica la estructura del suelo y controla plagas y enfermedades, sin embargo, el estudio de la macrofauna en México ha sido escaso, centrando la mayor parte de las publicaciones en inventarios taxonómicos donde se proporcionan listados, claves o descripciones generales, teniendo poca atención el papel funcional de los organismos del suelo y su diversidad en conjunto, tanto en sistemas naturales como en agroecosistemas (García *et al.,* 2017), por lo que el conocimiento de este grupo en un área de relevancia biológica y social como es el Parque Nacional La Malinche es fundamental. Las áreas con mayor extensión dentro del área natural protegida son los bosques de pino (25%) y agroecosistemas (53%) (CONANP, 2013). Estudiar la composición de la macrofauna en distintos ecosistemas es, por lo tanto, un importante punto de partida para entender sus efectos potenciales en el medio edáfico y en la productividad vegetal, debido a que cada organismo puede tener una influencia distinta sobre procesos edáficos y en la productividad vegetal (Brown *et al.*, 2001). Conocer las especies que se presentan, aspectos ecológicos como la abundancia, densidad y biomasa podría arrojar datos sobre el estado de las comunidades. Aunado a lo anterior, hasta el momento se han registrado escasos estudios donde se aborde este grupo en este lugar, ya que las investigaciones anteriores incluyen grupos taxonómicos como los coleópteros y oligoquetos separadamente (Morón *et al.,* 2013; Cervantes, 2012).

VI. OBJETIVOS

General

Determinar la composición, abundancia, densidad y biomasa de la macrofauna (Arthropoda y Oligochaeta) del suelo en el ecosistema de bosque de pino y agroecosistemas en el Parque Nacional La Malinche.

Particulares

- Identificar la composición de los organismos pertenecientes a la macrofauna edáfica (Arthropoda y Oligochaeta) en un bosque de pino y un agroecosistema en el Parque Nacional La Malinche.

- Estimar la abundancia, densidad y biomasa de la comunidad de la macrofauna del suelo (Arthropoda y Oligochaeta) en ecosistema de bosque de pino y agroecosistemas en el Parque Nacional La Malinche.

VII. HIPÓTESIS

→ H1: La comunidad de lombrices de tierra estará compuesta por un mayor número de especies exóticas y una mayor biomasa de estas, en contraste con las especies nativas en el bosque de pino.

→ H2: Los coleópteros Melolonthidae rizófagos serán más abundantes en los agroecosistemas

VIII. METODOLOGÍA

8.1 Zona de estudio

Dentro de la provincia del Eje Neovolcánico en la zona central oriente, se encuentra la quinta montaña más alta de México con una altitud de 4,461 msnm, La Malinche o Matlalcueyatl por sus riqueza biológica, geográfica y cultural se decretó como un Área Natural Protegida en 1938 (CONANP, 2013). El Parque Nacional La Malinche se ubica entre los estados de Puebla y Tlaxcala (Fig. 2) y es el onceavo parque con mayor extensión con una superficie de 46,112.24 ha. La mayor parte del territorio se encuentra en Tlaxcala con doce municipios, mientras que en Puebla se localizan únicamente cuatro.

El municipio San Francisco Tetlanohcan se ubica en el estado de Tlaxcala en el lado noroeste del Parque Nacional La Malinche. El tipo de clima en esta región según la clasificación de García (1989) es templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual oscila entre 12° y 16°, los meses más calurosos se tienen ente marzo y junio; la precipitación media anual oscila entre 800 y 1000 mm; los meses más lluviosos se dan entre mayo y septiembre; la frecuencia de heladas es de 40 y 60 días (CONANP, 2013).

Los suelos predominantes que se distribuyen en el Parque Nacional La Malinche son Regosol, seguido de Fluvisol, Cambisol y ocupando una menor extensión se encuentra el Litosol, Feozem y Luvisol (CONANP, 2013), sin embargo, Vela-Correa *et al.,* (2007) reporta en la zona de San Francisco Tetlanohcan en el bosque de pino suelos de tipo Andosoles mólicos que son suelos de origen reciente, común en suelos volcánicos, además de tener un pH ácido, ricos en materia orgánica con una textura areno migajosa.

Los tipos de vegetación que se encuentran en el Parque Nacional La Malinche son Bosque de pino (24.92%), de oyamel-pino (4.46%), de encino (3.41%),

pino-encino (1.36%), encino-pino (0.17%), pino-oyamel (5.38%), Pastizal natural (5.38%) y Agricultura de temporal (53.27%). Las especies de pinos característicos son *Pinus teocote, Pinus montezumae, Pinus hartwegii y Pinus leiophylla* (CONANP, 2013). Dentro del municipio de San Francisco Tetlahnocan se encuentran bosques de pino, predominando la especie *P. montezumae*, con un rango altitudinal de los 2,500 a 3,100 msnm, aunque en ocasiones entran en su composición *Pinus pseudostrobus*, *P. teocote*, *Alnus jorullensis*, *Abies religiosa*, *Quercus laurina*, *Quercus crassipes* (CONANP, 2013). Asimismo, se practica la actividad agrícola con cultivos como frijol *(Phaseolus vulgaris)*, calabaza *(Cucurbita* sp.*)*, haba (*Vicia faba*), avena *(Avena* sp.*)* y trigo *(Triticum aestivum).*

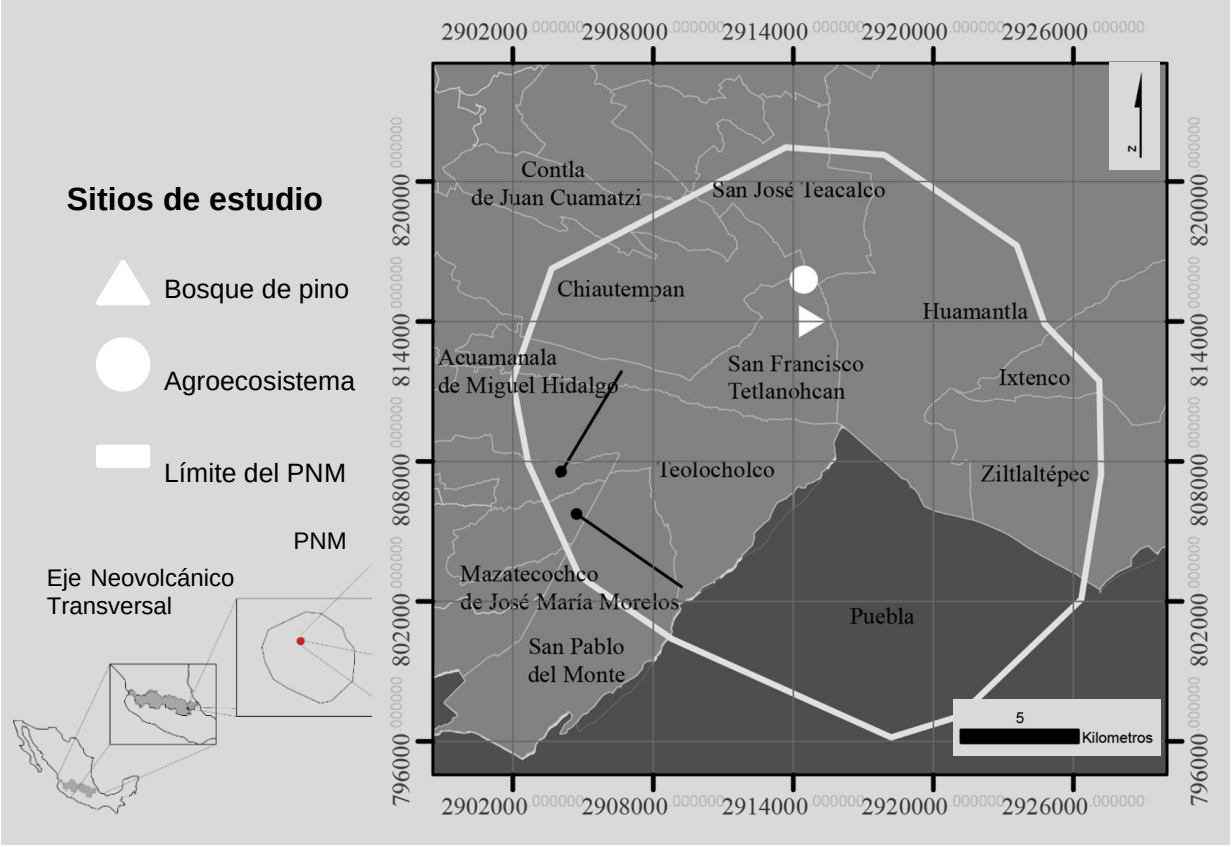


Figura 2. Límites del Parque Nacional La Malinche, abarcando los estados de Puebla y Tlaxcala y la ubicación de los sitios de muestreo que comprende el bosque de pino y el agroecosistema.

Se seleccionaron dos sitios: un bosque de pino y un agroecosistema (Fig. 2). El bosque de pino presenta la especie de *P. montezumae* y en el estrato herbáceo se encuentran entre otras especies *Lupinus aschenbornii* y *Cirsium subuliforme*. Los sitios de muestreo se ubicaron entre los 2995 y a los 3295 msnm. En el sitio de agroecosistema se seleccionaron parcelas de haba, trigo y avena ubicadas entre los 2995 y 3037 msnm (Cuadro 2). En el manejo agrícola predominante no se utilizan agroquímicos, aunque la preparación del suelo se realiza con maquinaria agrícola y la producción está destinada principalmente al autoconsumo, si existen excedentes se destinan a la venta.

En los muestreos de macrofauna, se registraron datos de humedad relativa, temperatura ambiental, temperatura del monolito, coordenadas geográficas y altitud con la finalidad de obtener las condiciones ambientales.

Cuadro 1. Ubicación de los sitios de muestreo.

Sitio	Coordenadas geográficas	Altitud (msnm)	Otras observaciones
Bosque 1	19° 16’ 26.9’’ N – 98° 02’ 35.5’’ O	3188	_
Bosque 2	19° 16’ 04.3’’ N – 98° 02’ 28.8’’ O	3295	_
Bosque 3	19°16’ 44.9’’ N – 98° 02’ 25.9’’ O	3129	_
Bosque 4	19° 16’ 36.2’’ N – 98° 02’ 40.6’’ O	3173	_
Bosque 5	19° 16’ 17.1’’ N – 98° 02’ 32.9’’ O	3226	_
Agroecosistema 1	19° 17’ 08.3’’ N – 98° 02’ 40.6’’ O	3023	Trigo en descanso
Agroecosistema 2	19° 17’ 15.8’’ N – 98° 02’ 43.4’’ O	2995	Haba
Agroecosistema 3	19° 17’ 08’’ N – 98° 02’ 38.6’’ O	3029	Trigo
Agroecosistema 4	19° 17’ 05.5’’ N – 98° 02’ 39.’’ O	3030	Haba
Agroecosistema 5	19° 17’ 06.4’’ N – 98° 02’ 37.3’’ O	3037	Avena

8.2 Muestreo de macrofauna

Se realizaron muestreos sistemáticos mensuales de mayo a noviembre de 2021, en ambos sitios de estudio se siguió el método de TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) (Anderson e Ingram, 1993) modificado, con 8 monolitos por cada sitio y momento de muestro, de 30 cm x 30 cm y 30 cm de profundidad, separados cada 5 m, dispuestos en transectos lineales de origen aleatorio. De cada monolito se muestrearon cuatro estratos de profundidad, el primero correspondió a la *hojarasca,* el segundo a la profundidad de *0* a *10* cm, el tercero de *10* a *20* cm y el cuarto de *20* a *30* cm. En total se realizaron 80 monolitos, 40 correspondientes a cada sitio de muestreo.

8.3 Procesamiento de las muestras

Se colectaron de forma manual los organismos mayores a 2 mm pertenecientes al grupo de la macrofauna artrópodos y oligoquetos, colocándose en frascos con etanol al 70% para los oligoquetos y artrópodos; y para las larvas se colocaron en frascos con solución pampel, para ser cambiados a solución de etanol al 70% en cinco días con el fin de mantener la morfología externa con coloración visible.

Los ejemplares de artrópodos colectados se trasladaron al laboratorio de Sistemática y Diagnóstico de Plagas, mientras que las de oligoquetos al laboratorio de Manejo Agroecológico del Suelo y Agua, ambos pertenecientes al Centro de Agroecología, del Instituto de Ciencias de la Benemerita Autónoma de Puebla (CENAGRO-ICUAP), en donde se realizó la identificación taxonómica de artrópodos hasta el nivel taxonómico que fue posible determinar, utilizando la guías entomológicas de Morón y Terrón (1988); Borror *et al.* (1989); Palacios *et al.*(2014); y Chu (1947), mientras que para los oligoquetos, se determinarán los organismos a nivel de especie utilizando las guías de Reynolds (1977) y por contraste con las

descripciones de las especies *Zapotecia amecamecae* (Eisen, 1900) y *Protozapotecia acaxetlensis* (Cervantes y Fragoso, 2018).

Posteriormente, se estimó la biomasa de los organismos, pesándolos en una balanza analítica. Los artrópodos fueron depositados en la colección “Miguel Ángel Morón Ríos” del Instituto de Ciencias de la BUAP, mientras que los organismos oligoquetos fueron depositados en la colección de Fauna del Suelo, del Laboratorio de Manejo Agroecológico de Suelo y Agua del Centro de Agroecología del Instituto de Ciencias de la BUAP.

Se obtuvo la densidad promedio y biomasa promedio utilizando el programa STATGRAPHIC Centurion.

IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9. Macrofauna

De los datos ambientales obtenidos de temperatura ambiental, humedad relativa y temperatura del monolito se estimaron los promedios de cada sitio de estudio y por mes de muestreo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Promedio de los datos ambientales obtenidos en campo para el sitio bosque de pino y agroecosistema en el Parque Nacional La Malinche.

B	**T A** (°C)	**Error estándar** ±	**H A** (%)	**Error estándar** ±	**TM** (°C)	**Error estándar** ±
Mayo	21.2	0.9	42.2	1.7	13.3	0.7
Julio	14.9	0.5	83.5	2.0	10.3	0.1
Septiembre	12.6	0.1	93.9	1.3	10.8	0.1
Octubre	14.9	0.3	72.2	2.2	12.1	0.5
Noviembre	11.1	0.4	52.2	2.9	8	0.3
A						
Mayo	23.4	0.8	39	4.4	18.4	0.9
Julio	19.9	0.8	31.4	1.6	12	0.3
Septiembre	13.4	0.6	84	1.3	13.4	0.2
Octubre	14.3	0.3	78.5	0.9	11.8	0.5
Noviembre	19.2	1.1	33.1	0.9	11.8	0.6

B: bosque de pino; A: agroecosistema; TA: temperatura ambiental; HA: humedad relativa ambiental, TM: temperatura del monolito.

Durante toda la investigación, considerando los dos sitios de estudio, se obtuvieron 1,991 individuos que corresponden a los taxa Oligochaeta (704), Aranae (80), Opilión (5), Chilopoda (367), Diplopoda (101), Orthoptera (29), Dermaptera (27), Hemiptera (5), Coleoptera (456) de los cuales son larvas (327), Hymenoptera (4), Diptera (193), Lepidoptera (19). Los taxa con mayor proporción en abundancia fueron los oligoquetos (36%), seguido de los coleópteros (22%) y quilópodos (19%) (Fig.3).

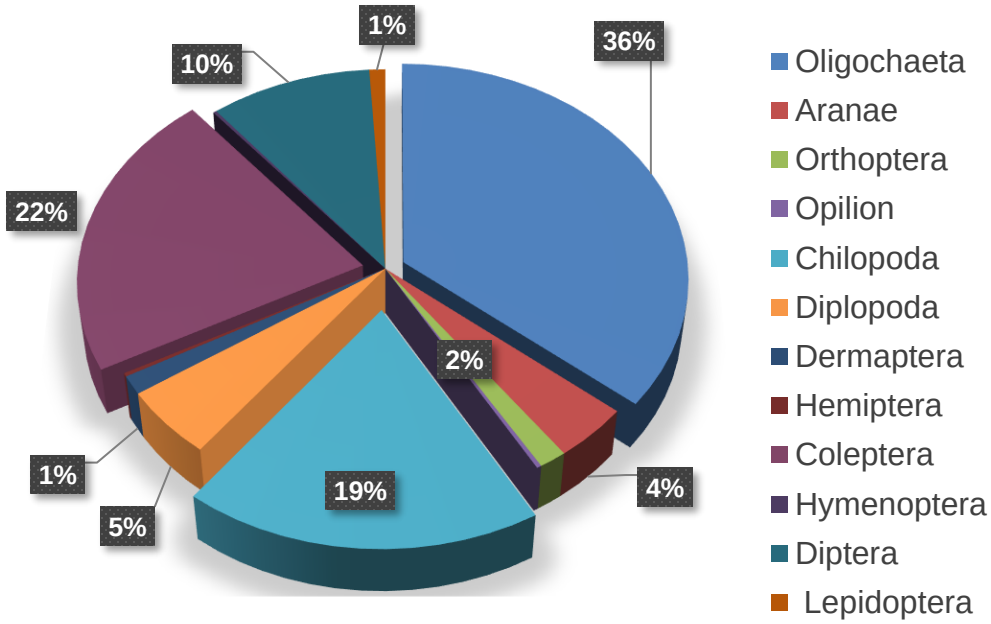


Figura 3. Proporción de la abundancia de los taxa registrados durante todo el estudio.

El sitio bosque de pino registró una abundancia de todos los taxa de 1701 individuos. La densidad promedio de todos los grupos registrados fue de 472 ± 63.4 individuos m^{-2} y el promedio de la biomasa aportada de todos los grupos en el bosque de pino fue 31.3 ± 4.6 g m^{-2}. Brown *et al.* (2001) reportan una biomasa en bosques de Veracruz mayor a 25 g m^{-2}, pero menor a 35 g m^{-2}, por lo que la biomasa obtenida en el presente estudio se encuentra dentro del rango mencionado por los autores.

Los oligoquetos dominaron la biomasa con un 36% del total, esto concuerda el patrón reportado por Brown *et al.* (2001), en el cual las lombrices de tierra dominan la biomasa dentro de la macrofauna en distintos ecosistemas mexicanos como selvas, bosques y pastizales.

La densidad promedio obtenida de toda la macrofauna en el sitio agroecosistema fue de 80 individuos ± 11 m^{-2}, mientras que el promedio de la biomasa fue de 3.6 ± 1.3 g m^{-2}, siendo esta densidad y biomasa menor que la del bosque. Estos datos son similares a los descritos por Brown *et al.* (2001) en los agroecosistemas de cultivos anules obteniendo una biomasa promedio de 5.1 g m^{-2}.

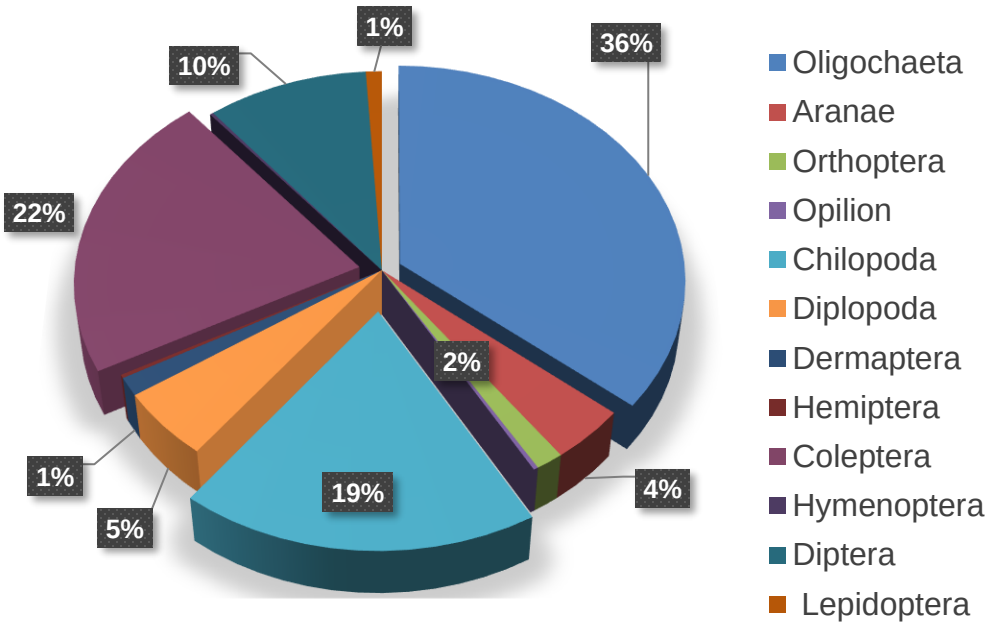


Figura 4. Proporción de la abundancia de los taxa registrados durante todo el estudio.

Respecto a la densidad promedio de organismos de la macrofauna del suelo por mes de muestreo se observó que (Fig. 5), en el sitio bosque, el mes que obtuvo la mayor densidad fue julio seguido del mes de septiembre, mientras que el mes de mayo fue el que tuvo un valor menor. La densidad en el agroecosistema en general fue baja, sin embargo, en octubre fue el mes que mayor valor se encontró seguido del mes de mayo.

La distribución de los organismos de la macrofauna edáfica está regulada por factores bióticos y abióticos, la temperatura, la humedad, la disponibilidad de alimento e interacciones bióticas, por mencionar algunos (FAO, 2020). En el caso

de la densidad obtenida en el sitio de bosque de pino se pueden observar los datos del mes de mayo, el cual es menor con respecto a los meses siguientes, esto puede deberse a una relación con la época de lluvias, ya que todavía no ha iniciado como se muestra en la figura 6. Una vez que comienza a llover en el mes de junio, se observa el incremento en la densidad de la macrofauna del suelo en el mes de julio, seguido del mes de septiembre, y posteriormente noviembre. Después del mes de septiembre comienzan los descenso en la precipitación, pero aún se encuentra humedad almacenada en el suelo hasta noviembre (Fig. 6) En cuanto a la relación de la densidad del mes y la abundancia, la figura 7 muestra que el grupo de oligoquetos fue el que tuvo mayores valores.

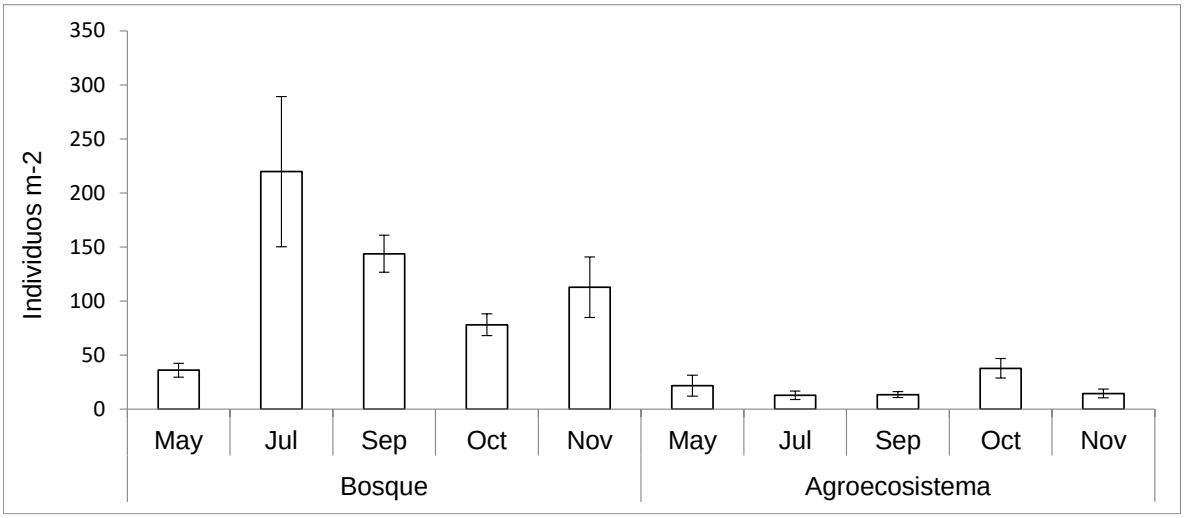


Figura 5. Densidad de organismos de macrofauna del suelo (individuos m^{-2}) de los ecosistemas y el tiempo de muestreo.

Para el agroecosistema el valor más alto de densidad promedio de los organismos de la macrofauna fue el mes de octubre, sitio donde se encontraba el cultivo de haba, sin embargo, se observó que en este lugar la densidad estuvo mejor representado por organismos de larvas de coleópteros (Melolonthidae y *Phyllophaga* sp) (Fig. 8).

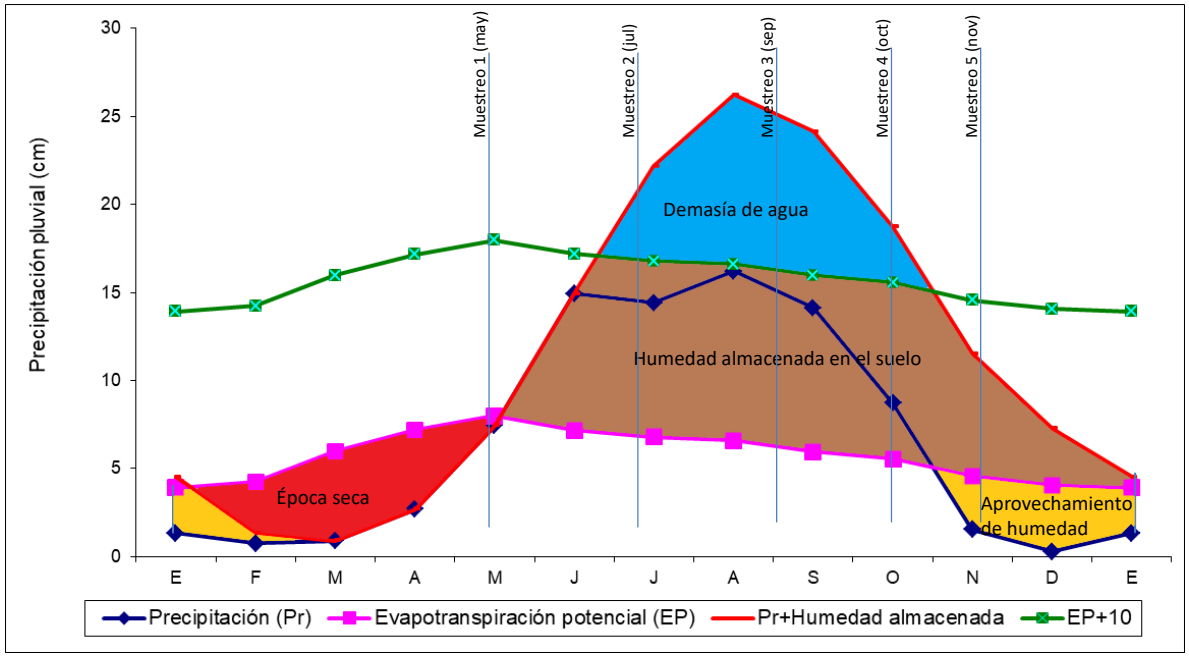


Figura 6. Balance de agua estimada con datos de la estación climatológica Acxotla del Monte (29161), municipio Teolocholco, Tlax. Estación más cercana a la zona de estudio, ubicada a 12 km de distancia y a 2443 msnm. (Fuente: datos del Servicio Meteorológico Nacional (2023), analizados por Dr. Dionicio Juárez Ramón).

Respecto a la temperatura del monolito se observó que en el bosque se mantuvieron valores similares. En el agroecosistema la temperatura del monolito correspondiente al mes de mayo tuvo un valor sobresaliente con respecto a los otros meses, cabe mencionar que este agroecosistema se encontraba sin hojarasca y sin un cultivo sembrado, por lo que la diferencia entre los valores obtenidos en diferentes meses es de entre 3 a 5°C. Realizando una comparación con la temperatura del monolito en mayo entre bosque de pino y agroecosistema, se observa como la hojarasca y el estrato arbóreo influyen en la regulación de la temperatura del monolito, aun cuando la época de lluvias no ha empezado, reflejando una diferencia de la temperatura entre los sitios de 5.1°C.

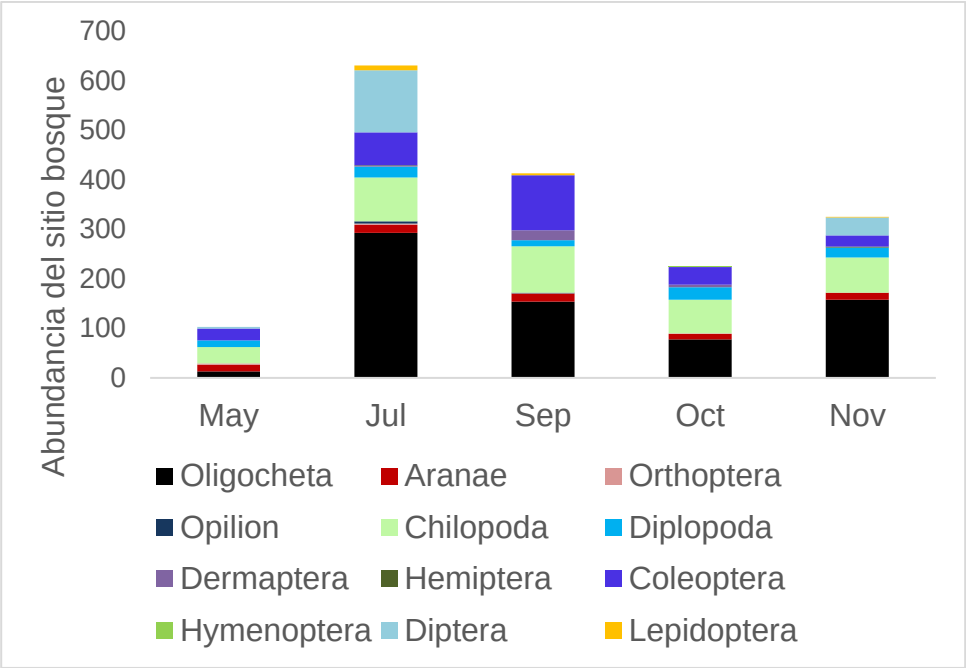


Figura 7. Abundancia de la macrofauna por muestreo en el sitio bosque de pino del Parque Nacional La Malinche (8 monolitos de 30x30x30 cm).

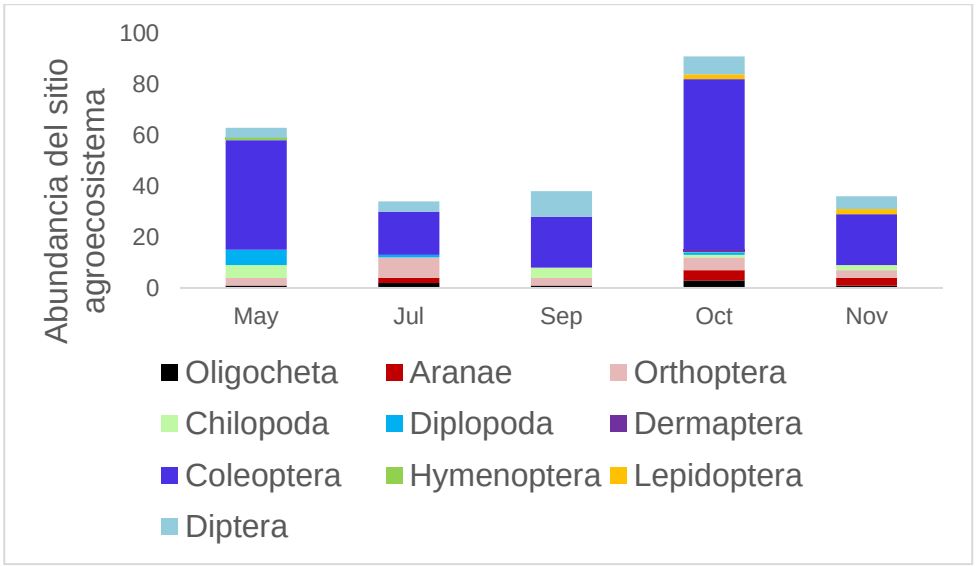


Figura 8. Abundancia de la macrofauna por muestreo en el sitio agroecosistema del Parque Nacional La Malinche (8 monolitos de 30x30x30 cm).

Por todo lo anterior, ambientes perturbados como el agroecosistema, impactan sobre la macrofauna, haciéndola uniforme y su diversidad y abundancia disminuyen, durante los cambios los organismos dependientes de la hojarasca desaparecen y es común que en agroecosistemas se desarrollen organismos oportunistas (De la Rosa y Negrete, 2012). Por lo que la hojarasca proporciona sombra, regulación de la humedad y temperatura, favoreciendo el desarrollo óptimo de las comunidades edáficas más diversas (Ramírez *et al.*, 2014).

La distribución de los organismos con respecto a la densidad y el estrato en el que se encontraron, se muestran en la siguiente figura (Fig. 9). El sitio bosque tiene una predominancia en el estrato hojarasca de macrofauna epigea y disminuye la densidad conforme la profundidad. Para el caso del agroecosistema, ante la ausencia de hojarasca se observa que el estrato con mayor densidad fue en el estrato 0 – 10 cm, por lo que, al encontrar condiciones óptimas para su desarrollo, algunos organismos migran verticalmente (De la rosa y Negrete, 2012).

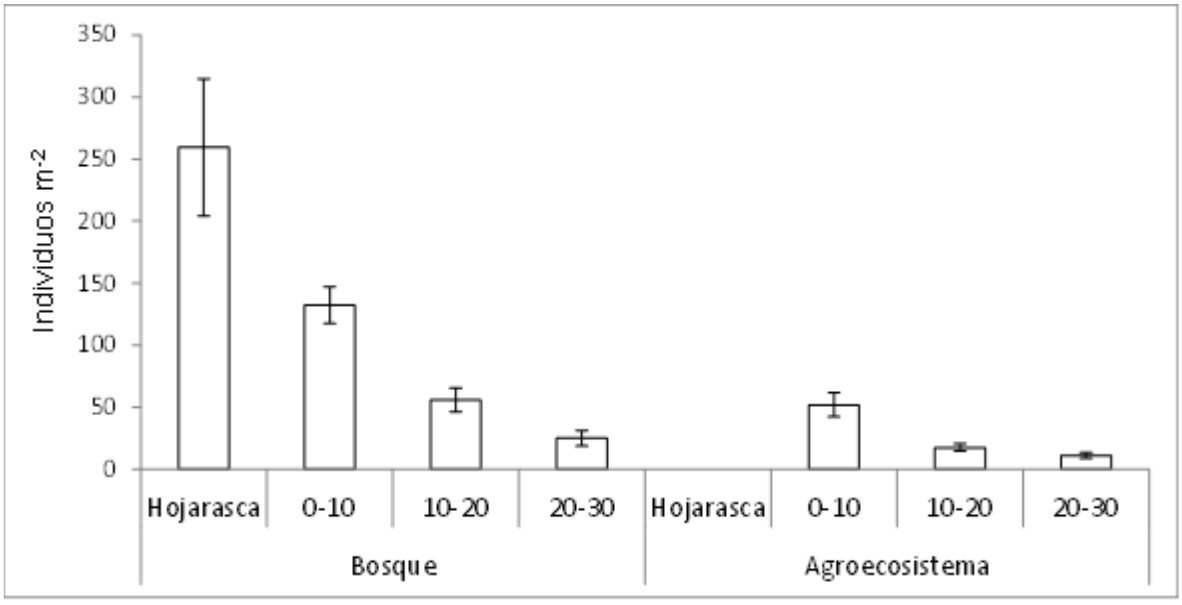


Figura 9. Densidad de organismos de macrofauna del suelo por estratos, presentes en el ecosistema bosque de pino y agroecosistemas de cultivos anuales en el Parque Nacional La Malinche.

9.2 Oligoquetofauna

9.2.1 Composición

Se determinaron un total de siete especies de lombrices de tierra en ambas zonas de estudio, dos de ellas, especies nativas pertenecientes a la familia Acanthodrilidae y las cinco restantes ubicadas dentro de la familia Lumbricidae (Cuadro 1), de origen exótico *(Aporrectodea trapezoides, Dendrobaena octaedra, Dendrodrilus rubidus, Lumbricus rubellus y Octalasion tyrtaeum)* provenientes del continente europeo, mientras que las otras dos especies son nativas del país y endémicas al Eje Neovolcánico Transversal pertenecientes a la familia Acanthodrilidae (*Zapotecia amecamecae y Protozapotecia acaxetlensis*) (Cuadro 4).

En este estudio se realiza el primer registro en el Parque Nacional La Malinche de cinco especies *(D. octaedra, D. rubidus, L. rubellus, O. tyrtaeum y P. acaxetlensis).* Previamente Fragoso (2001) reportó la distribución de dos especies *A. trapezoides* y *Eisenia fétida* en el estado de Tlaxcala, además Cervantes (2012); Cervantes *et al.* (2014) reportaron *Zapotecia amecamecae* en el Parque Nacional La Malinche y Cervantes y Fragoso (2018) describieron la especie *Protozapotecia acaxetlensis* en la montaña el Pinal, una montaña del estado de Puebla cercana a La Malinche, e indicaron que la especie vive en el bosque de oyamel, ubicado por encima de los 2900 msnm y es endémica a El Pinal, ocurriendo solo en la cima de esta montaña. Sin embargo, el hallazgo de *P. acaxetlensis* en La Malinche indica que la especie no habita exclusivamente en el Pinal.

En cuanto a la distribución de las especies en los sitios de estudio se observó un patrón ecológico derivado del registro de las especies nativas, se encontraron exclusivamente en el bosque de pino y estuvieron ausentes en el agroecosistema, dicho patrón también fue encontrado por Fragoso y Rojas (2014) donde mencionan que en México en los ambientes estudiados, generalmente las especies nativas predominan en ambientes naturales y las especies exóticas se distribuyen con más

frecuencia en ambientes perturbados y en bosques templados relativamente bien conservados.

Cuadro 3. Listado de las especies de oligoquetos registradas por sitios de estudio y su origen en el Parque Nacional La Malinche.

FAMILIA	ESPECIE	ABUNDANCIA POR SITIO		CATEGORÍA ECOLÓGICA	ORIGEN
		B	A		
Lumbricidae	*Aporrectodea trapezoides*	2	6	Anécica	Exótica
	Dendrobaena octaedra	431	0	Epigea Fragoso (2005)	Exótica
	Dendrodrilus rubidus	3	0	Epigea Fragoso (2005)	Exótica
	Lumbricus rubellus	206	1	Epigea Fragoso (2001)	Exótica
	Octalasion tyrtaeum	2	1	Endógea mesohúmica Fragoso (2005)	Exótica
Acanthodrilidae	*Zapotecia amecamecae*	48	0	Endógea	Nativa
	Protozapotecia acaxetlensis	4	0	Endógea Cervantes y Fragoso (2018)	Nativa

BP: Bosque de pino; A: agroecosistema

9.2.2 Abundancia

Se colectaron en total 704 individuos (696 en el sitio bosque de pino y 8 en el agroecosistema) (Fig. 10). La especie más abundante fue *D. octaedra* con 431 individuos que representa el 62% y la menos abundante *D. rubidus* y *O. tyrtaeum,* ambas con 3 individuos y su representación fue menor al 1%. La abundancia de las lombrices nativas en el sitio bosque fue de 48 y 4 individuos para las especies *Z.*

amecamecae con el 7% y *P. acaxetlensis* con el 1% respectivamente, mientras que ningún individuo de la familia Acanthodrilidae fue registrado en el agroecosistema, esto podría indicar que las especies nativas están siendo amenazadas por el cambio de uso de suelo y las prácticas agrícolas, aunado a esto, las dos especies son endógeas (habitan en el estrato de profundidad de 20-30 cm) con dificultad podrían distribuirse en cultivos debido a la pérdida de la calidad del suelo y el arado. Las siete especies fueron colectadas en el bosque de pino y tres en el agroecosistema, Fragoso (2001) menciona que el patrón ecológico respecto a la abundancia de las lombrices de tierra en los bosques templados muestreados del país, predominan las especies exóticas y epigeas que representan el 35-58% de la abundancia total y los cultivos son los más escasos en cuanto especies y abundancias, lo cual concuerda con la presente investigación.

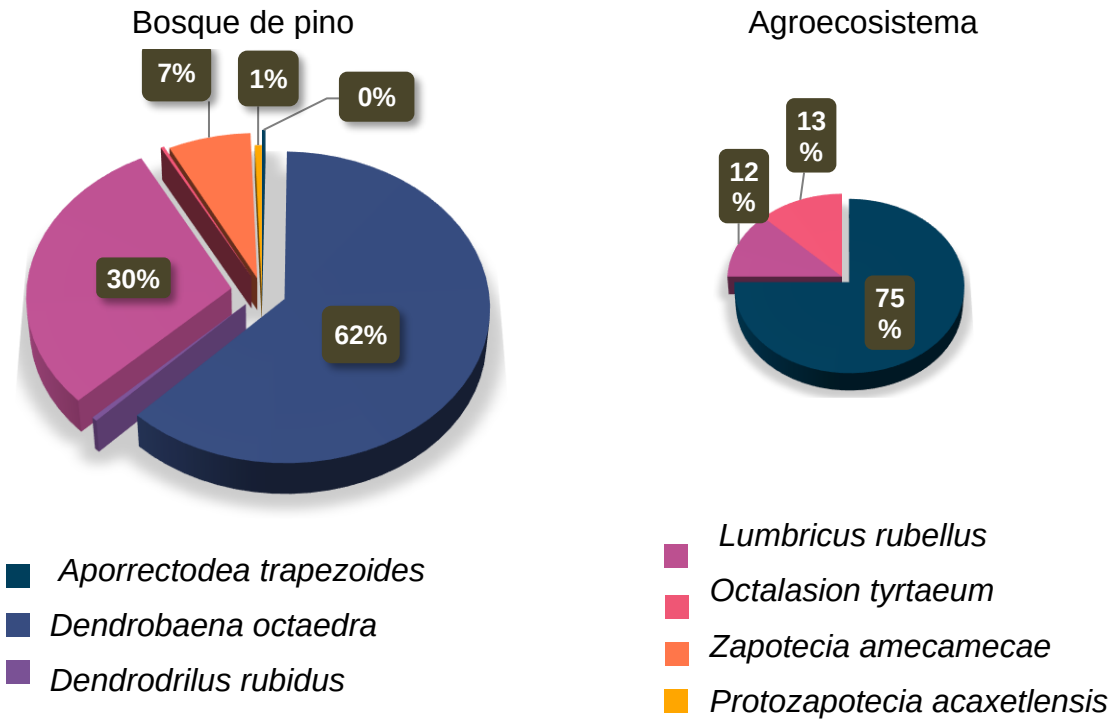


Figura 10. Proporción de la abundancia registrada en bosque de pino y agroecosistema del Parque Nacional La Malinche.

9.2.3 Densidad promedio

Para el bosque de pino se obtuvo una densidad promedio de 193.3 ± 38.4 individuos m^{-2}, para el sitio agroecosistema la densidad fue de 2.2 ± 0.7 individuos m^{-2}. Juárez y Fragoso (2014) reportaron la densidad de las lombrices encontradas en un sitio en bosque de encino y oyamel en San Jerónimo Tecoatl, Oaxaca, donde se observa una densidad de 66.7 individuos m^{-2}, menor a la estimada en el bosque pino del Parque Nacional La Malinche, mientras que en el mismo estudio, en los datos obtenidos de un agroecosistema de milpa intercalada con árboles frutales en Puebla las densidades registradas fueron de 36-40 individuos m^{-2}, mayor a lo registrado en el agroecosistema del presente estudio.

9.2.4 Biomasa promedio

En el bosque de pino se reportó una biomasa promedio de 28.9 ± 4.7 g m^{-2}, mientras que el sitio agroecosistema reportó 0.53 ± 1.3 g m^{-2} (Fig. 11). *De todas las especies registradas el mayor aporte de biomasa fue de* Z. amecamecae con un 43% del total, seguida de *L. rubellus* con el 29%; *D. octaedra* con un 28% y las especies restantes aportaron en conjunto solo el 1%. Considerando que *Z. amecamecae* es una especie endógea y posee el mayor tamaño en comparación con todas las especies en estudio, se asume que esta especie es ingeniera del ecosistema y tiene un papel clave en el funcionamiento del suelo.

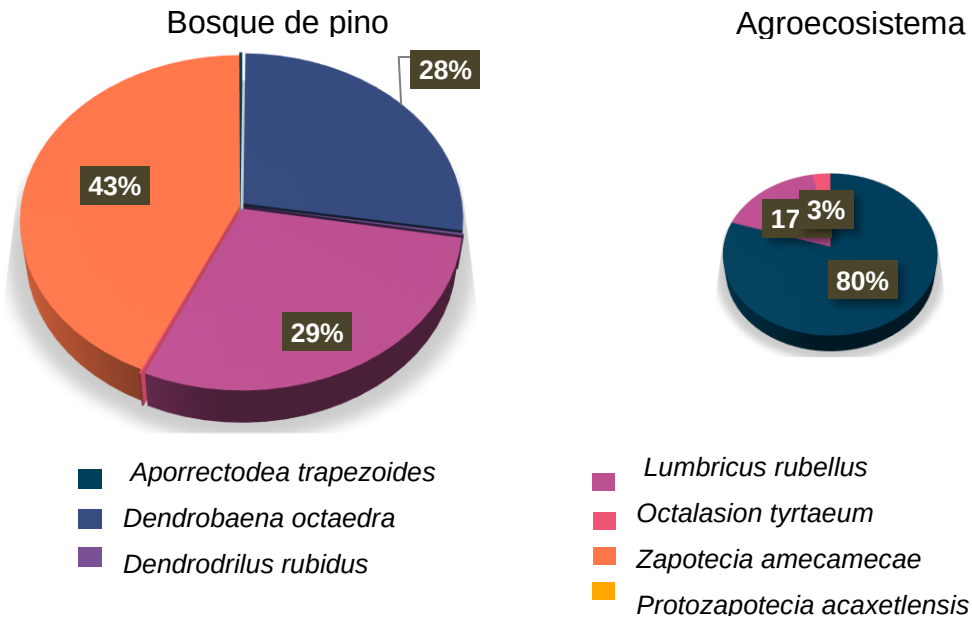


Figura 11. Proporción de la biomasa promedio registrada en los sitios en estudio dentro del Parque Nacional La Malinche.

La densidad y biomasa promedio de las lombrices de tierra del sitio bosque de pino (Fig. 12) en el mes de mayo, cuando aún no inicia la época de lluvias, las lombrices de tierra aún permanecen en estratos bajos del suelo, debido a la falta de humedad y el invierno que pasó; cuando inicia el periodo de lluvias, las lombrices de tierra han dejado el periodo de latencia, migrando a los estratos superiores.

Sin embargo, después del mes de julio, es posible que se enfrenten a los efectos de las interacciones ecológicas como la depredación o exista otro factor que regula sus poblaciones, las cuales disminuyen su densidad hasta a un 26.6%; aunque su biomasa no tenga el mismo ritmo de disminución debido a la mayor abundancia de la especie *Z. amecamecae* que realiza un gran aporte de biomasa.

El incremento de la densidad de población a partir de octubre puede deberse a la aparición de nuevos individuos que, después del periodo de latencia en la época invernal y época de sequía, perpetuarán las especies presentes en el bosque de pino, para el siguiente año.

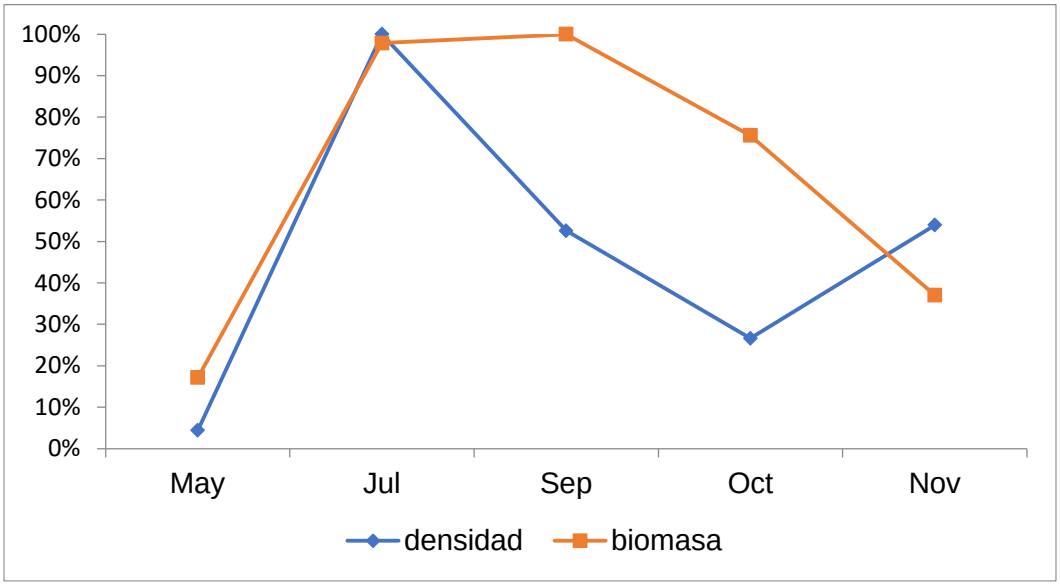


Figura 12. Dinámica de la densidad y biomasa promedio de las lombrices de tierra, basado en una proporción a partir del valor máximo del sitio bosque.

Entre la biomasa de las especies nativas y exóticas en el suelo del bosque de pino, no se encontraron diferencias significativas ($F(1, 280) = 1.058$, $p = 0.3044$); los valores estimados fueron de 3.1 g m^{-2} ± 0.8 y 4.1 ± 0.7, respectivamente. Sin embargo, es evidente que prácticamente solo una especie nativa esta aportando la biomasa de cinco especies exóticas, por lo que se destaca su papel como una especie importante para el ecosistema suelo, por lo que es vital realizar prácticas de conservación en los suelos de bosque, pero, sobre todo practicas agroecológicas en los agroecosistemas para que las lombrices nativas puedan encontrarse en estos ambientes.

Cabe reconocer que la hipótesis planteada de mayor aporte de biomasa de especies exóticas se rechaza con los valores obtenidos en el año 2021, en el suelo de bosque de pino en el Parque Nacional La Malinche. Solamente se encontraron diferencias entre nativas y exóticas, por la ubicación en el nivel de estrato muestreado (Fig. 13) lo que indica que las nativas son endógeas, mientras que las

exóticas son epigeas, principalmente. De las anécicas solamente se encontraron 2 individuos en el sitio bosque de pino.

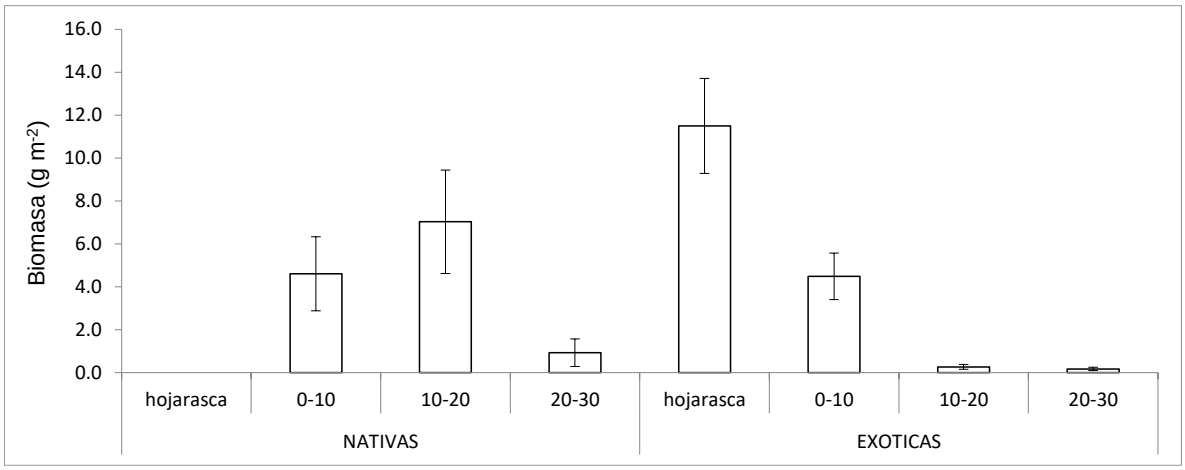


Figura 13. Biomasa de especies de lombrices de tierra nativas y exóticas y su distribución en el estrato.

Según Reynolds (2004), existen requerimientos generales del hábitat de las lombrices de tierra que condicionan su sobrevivencia como son la fuente de suministro del recurso alimenticio (materia orgánica), humedad y temperaturas adecuadas, oxígeno, protección a la radiación solar, pH y ausencia de sustancias toxicas, además de considerar barreras físicas en su distribución y competencia interespecífica, con base en lo anterior, se observó que el sitio agroecosistema carece de algunos de estos requerimientos, aunque no se realiza el suministro de agroquímicos si se retiran los restos de los cultivos y se hace uso de tractor, dejando descubierto el suelo e impactando de forma negativa el hábitat de las lombrices de tierra.

Las lombrices nativas se distribuyeron únicamente en los ecosistemas naturales debido a las prácticas agrícolas que impactan en su hábitat. Las especies exóticas pueden encontrarse en bosque de pino y agroecosistemas, sin embargo, en este último con bajos valores de abundancia, densidad y biomasa. Es necesario implementar un manejo agroecológico en los agroecosistemas e incorporar elementos de la vegetación nativa, establecer cobertura en los suelos (acolchados),

evitar el retiro de los restos de la materia orgánica para incorporarse al suelo debido a que regulan la humedad y temperatura y ayuda a mantener las propiedades fisicoquímicas para que las especies nativas puedan habitar en agroecosistemas asociados al bosque.

El estudio de los patrones de la macrofauna edáfica en sitios de bosque y de agroecosistemas pueden aportar conocimientos para sobre el impacto actual de las labores agrícolas que se realizan en el Área Natural Protegida y realizar prácticas que permitan sostener las capacidades de producción de los terrenos agrícolas y contribuyan a la suficiencia alimentaria, sin que los suelos destinados para la producción de alimentos sean deteriorados, es decir, se manejen en el marco de la Agroecología.

Estas prácticas agroecológicas deben considerar que cada región presenta condiciones ambientales (suelo, clima, diversidad, etc.) diferentes y, por lo tanto, requiere de un estudio específico de los organismos del suelo, con registro de las especies dominantes, grupos funcionales, estructuras poblacionales, y demás conceptos que pueden ser útiles para desarrollar un manejo eficiente del agroecosistema.

Labores como la labranza mínima o labranza cero pueden tener efectos positivos, como el que registra Hernández-Gutiérrez *et al*. (2017) en el estado de Puebla donde en un agroecosistema con labranza de conservación, en donde registraron 148.8 g m^{-2}, en contraste con un bosque de la zona aportó una menor biomasa 48.4 g m^{-2}.

9.3 Artropodofauna

9.3.1 Composición

En todo el estudio se registraron las clases Arachnida, Chilopoda, Diplopoda e Insecta, se identificaron 27 familias y 67 morfoespecies (Cuadro 5).

Para la clase Arachnida, en el orden Aranae se identificaron dos morfoespecies, dentro de la macrofauna destacan por ser organismos predadores de insectos y tienen un rol importante en el control de plagas (Baloriani *et al.,* 2010). En los opiliones se encontró una morfoespecie, y se observó que estuvieron presentes solo en el sitio de bosque de pino, esto pudiera deberse a las preferencias de humedad que tiene el grupo pues prefieren habitar en hojarasca, debajo de troncos en descomposición con humedad relativamente alta (Francke, 2014), lo cual contrasta con el sitio agroecosistema, que carecía de hojarasca y humedad en el suelo.

La clase Myriapoda registró en el orden Chilopoda seis morfoespecies ubicadas en cuatro géneros, *Geophilus* sp*., Macronicophilus* sp*., Lithobius* sp1, *Lithobius* sp2*., Lithobius* sp3 *y Scolopendra* sp1*.* Los ciempiés son depredadores generalistas que se alimentan de la mesofauna y de la macrofauna, forman parte importante de la fauna del suelo y de la hojarasca de diversos ecosistemas (Capul-Magaña, 2011). De acuerdo con Capul-Magaña (2013), el estudio de quilópodos en el estado de Tlaxcala ha sido escaso por lo que la presente investigación aportaría el registro de tres órdenes de los cuatro reportados en el país. En el sitio bosque se presentaron todas las morfoespecies excepto *Scolopendra* sp que únicamente se ubicó en el sitio agrícola junto una baja representatividad de *Macronicophilus* sp*.* En cuanto al registro del orden Diplopoda la morfoespecie *Orthoporus* sp se encontró únicamente en el sitio agroecosistema y *Cambala* sp y Spirosterptidae sp en el sitio bosque de pino.

En el orden Orthoptera se registró la presencia de *Stenopelmatus* sp y en Dermaptera se colectaron dos morfoespecies, una a nivel familia y otra a género, Labiduridae sp y *Euborellia* sp respectivamente.

En Hemiptera se identificaron cuatro morfoespecies *Cymbomorpha* sp*, Narvesus* sp*, Oedancala* sp *y Pachygrontha* sp*.* La familia Reduviidae a la cual pertenece la morfoespecie *Narvesus* sp se caracteriza por ser depredadoras, se alimentan de la hemolinfa de insectos adultos y larvas (Mora-Estrada *et al.,* 2017).

Para la familia Carabidae se obtuvieron cinco morfoespecies, a nivel género *Carabus* sp*, Harpalus* sp*, Loxandrus* sp*, Selenophorus* sp*,* y a nivel familia Carabidae sp1 y Carabidae sp2*.* En la familia Curculionidae se registraron las cinco morfoespecies *Epicaerus* sp*, Otiorhynchus* sp*, Polytus* sp*,* así como, dos morfoespecies quedaron a nivel familia Curculionidae sp1 y Curculionidae sp2*,* este grupo se caracteriza por alimentarse de tejidos de plantas, desde la raíz hasta las semillas pueden ser ingeridas por alguna especie del grupo, es uno de los grupos más diversos y tiene un impacto económico en cultivos de interés (Morrone, 2014).

En el grupo de los Melolonthidae se registraron a las especies *Diplotaxis* sp*, Phyllophaga* sp*, Orizabus* sp. Anteriormente García-De Jesús y Morón (2013) registraron los géneros *Diplotaxis* sp*. Phyllophaga* sp*, Orizabus* sp*,* en ecosistema de bosque de pino y a un rango de altitudinal de 2770 a 3135 msnm en el Parque Nacional La Malinche, lo cual coincide con lo encontrado en el presente estudio. Las especies *Diplotaxis* sp*,* y *Phyllophaga* sp se consideran rizófagas, mientras que *Orizabus* sp. sapro-rizo-xilofaga, según lo reportado por los mismos autores. Morón (2001) señala que en México existen al menos 870 especies de larvas edafícolas de melolóntidos siendo los géneros mejor representados *Phyllophaga, Diplotaxis, Anomala* y *Cyclocephala,* estas larvas pueden tener hábitos rizófagos, saprófagos o facultativos, además destaca su movilidad dentro del suelo ya que, al igual que los oligoquetos anécicos, pueden formar galerías, favoreciendo la circulación del

aire y agua dentro del edafón. En el presente estudio el género *Cyclocephala* es una larva saprófaga.

Los organismos colectados del grupo Staphylinidae se registraron dentro de las morfoespecies *Neohypnus* sp*., Quedius* sp1, *Quedius* sp2 y a nivel familia una morfoespecie Staphylinidae sp1 estadio adulto y larva. El género *Quedius* ha sido reportado en otras montañas del país como el nevado de Toluca y se le asocia a ecosistemas montañoso, se ha considerado como especies depredadoras encontrándose en una gran variedad de hábitats de hojarasca de diferentes tipos como acumulaciones de materia orgánica en descomposición (Navarrete-Heredia *et al.,* 2002).

Se obtuvieron cuatro morfoespecies de Tenebrionidae, a nivel género *Bolitotherus* sp, *Myrmecodema* sp y a nivel familia Tenebrionidae sp1*,* Tenebrionidae sp2*.* Este grupo se asocia principalmente a dos tipos de hábitat, el suelo y los árboles, aunado a este registro Cifuentes-Ruíz y Zaragoza-Caballero (2014) mencionan que el estado de Tlaxcala ha sido uno de los menos estudiados con solo dos registros hasta el momento de su publicación.

En el orden Díptera se registraron cinco morfoespecies, una a nivel orden Diptera y cuatro a familias Asilidae, Bibionidae, Therevidae y Tipulidae. Los asílidos son un grupo importante para los ecosistemas por su papel ecológico como depredadores, pues contribuyen a mantener un balance en las poblaciones de insectos (Bello-Morales *et al.,* 2020).

Para Lepidoptera se obtuvieron tres morfoespecies representadas una pupa y dos larvas que no se pudieron determinar.

El PNM presentó una mayor riqueza en el sitio bosque, de acuerdo con De la Rosa y Negrete-Yankelevich (2012) se ha reportado que, en bosques mesófilos de Oaxaca en 15 años de sucesión, después de la tala selectiva, la abundancia total de macroinvertebrados es de sólo el 20% y la riqueza de taxones se pierde en un

70% de lo encontrado en boques maduros, por lo cual en el presente estudio se considera que la perdida de la cobertura vegetal, las prácticas agrícolas, el retiro de hojarasca en el suelo entre otros factores están modificando abruptamente la composición de especies en los agroecosistemas, aun estando cercanos a manchones de bosque de pino.

Cuadro 4. Listado de las morfoespecies de Arthropoda registradas en el Parque Nacional La Malinche

Clase	Orden	Familia/ Subfamilia	Género y especie/ morfoespecie	Estadio	Sitio
Arachnida	Aranae		sp1	adulto	B/A
Arachnida	Aranae		sp2	adulto	B
Arachnida	Opilinoes		sp	adulto	B
Chilopoda	Geophilomorpha	Geophilidae	*Geophilus* sp	adulto	B/A
Chilopoda	Geophilomorpha	Geophilidae	*Macronicophilus* sp	adulto	B
Chilopoda	Lithobiomorpha	Lithobiidae	*Lithobius* sp1	adulto	B
Chilopoda	Lithobiomorpha	Lithobiidae	*Lithobius* sp2	adulto	B
Chilopoda	Lithobiomorpha	Lithobiidae	*Lithobius* sp3	adulto	B
Chilopoda	Scolopendromorpha	Scolopendridae	*Scolopendra* sp	adulto	A
Diplopoda	Spirostreptida	Spirosterptidae	sp	adulto	B/A
Diplopoda	Spirostreptida	Cambalidae	*Cambala* sp	adulto	B
Diplopoda	Spirostreptida	Spirosterptidae	*Orthoporus* sp	adulto	A
Insecta	Orthoptera	Stenopelmatidae/ Stenopelmatinae	*Stenopelmatus* sp	adulto	B/A
Insecta	Dermaptera	Labiduridae	sp1	adulto	B
Insecta	Dermaptera	Labiduridae	*Euborellia* sp	ninfa y adulto	B/A
Insecta	Hemiptera	Membracidae	*Cymbomorpha* sp	adulto	B
Insecta	Hemiptera	Reduviidae	*Narvesus* sp	adulto	B
Insecta	Hemiptera	Pachygronthidae	*Oedancala* sp	adulto	B
Insecta	Hemiptera	Pachygronthidae	*Pachygrontha* sp	adulto	B
Insecta	Hemiptera	Membracidae	*Cymbomorpha* sp	adulto	B
Insecta	Coleoptera		sp	pupa	A
Insecta	Coleoptera	Carabidae	sp1	larva	B/A
Insecta	Coleoptera	Carabidae	sp2	adulto	A
Insecta	Coleoptera	Carabidae	*Carabus* sp	adulto	A

Insecta	Coleoptera	Carabidae	*Harpalus* sp	adulto	A
Insecta	Coleoptera	Carabidae	*Loxandrus* sp	adulto	A
Insecta	Coleoptera	Carabidae	*Selenophorus* sp	adulto	A
Insecta	Coleoptera	Staphylinidae	sp1	larva	A
Insecta	Coleoptera	Staphylinidae	sp1	adulto	B/A
Insecta	Coleoptera	Staphylinidae	*Neohypnus* sp	adulto	B/A
Insecta	Coleoptera	Staphylinidae	*Quedius* sp 1	adulto	B/A
Insecta	Coleoptera	Staphylinidae	*Quedius* sp 2	adulto	B/A
Insecta	Coleoptera	Melolonthidae	sp1	larva	B/A
Insecta	Coleoptera	Melolonthidae	sp2	adulto	B
Insecta	Coleoptera	Melolonthidae	sp1	larva	B/A
Insecta	Coleoptera	Melolonthidae	sp2	adulto	B
Insecta	Coleoptera	Melolonthidae/ Dynastinae	*Orizabus* sp	larva	B
Insecta	Coleoptera	Melolonthidae/ Melolonthinae	*Diplotaxis* sp	larvas	A
Insecta	Coleoptera	Melolonthidae/ Melolonthinae	*Phyllophaga* sp	larvas	B/A
Insecta	Coleoptera	Melolonthidae/ Melolonthinae	*Phyllophaga* sp	adulto	B
Insecta	Coleoptera	Scarabaeidae/ Rutelinae	*Plusiotis* sp/*Chrysina* sp	larvas	B
Insecta	Coleoptera	Elmidae	*Xenelmis* sp	larva	A
Insecta	Coleoptera	Coccinellidae	*Charidotella* sp.	adulto	B
Insecta	Coleoptera	Coccinellidae	*Stethorus* sp	adulto	A
Insecta	Coleoptera	Tenebrionidae	sp1	larva	A
Insecta	Coleoptera	Tenebrionidae	Sp2	adulto	A
Insecta	Coleoptera	Tenebrionidae	*Bolitotherus* sp	adulto	B
Insecta	Coleoptera	Tenebrionidae	*Myrmecodema* sp	adulto	A
Insecta	Coleoptera	Oedemeridae	*Schnomera* sp	adulto	B
Insecta	Coleoptera	Anthicidae	*Notoxus* sp	pupa	A
Insecta	Coleoptera	Anthicidae	*Notoxus* sp	adulto	A
Insecta	Coleoptera	Chrysomelidae	*Phaedon cyanescens*	adulto	B
Insecta	Coleoptera	Chrysomelidae	*Zygogramma piceicollis*	adulto	B
Insecta	Coleoptera	Curculionidae	sp1	larvas	B/A
Insecta	Coleoptera	Curculionidae	sp2	pupa	B/A
Insecta	Coleoptera	Curculionidae	*Epicaerus* sp	adulto	A
Insecta	Coleoptera	Curculionidae	*Otiorhynchus* sp	adulto	B
Insecta	Coleoptera	Curculionidae	*Polytus* sp	adulto	A
Insecta	Hymenoptera			pupa	B

Insecta	Hymenoptera	Formicidae	sp	adulto	A
Insecta	Hymenoptera	Ichneumonidae	*Pimpla* sp	adulto	B
Insecta	Lepidoptera		sp 1	pupa	B/A
Insecta	Lepidoptera		sp 2	larva	B
Insecta	Lepidoptera		sp 3	larva	B/A
Insecta	Diptera			pupa	B
Insecta	Diptera	Asilidae	sp	larva	B/A
Insecta	Diptera	Bibionidae	sp	larva	B/A
Insecta	Diptera	Therevidae	sp	larva	A
Insecta	Diptera	Tipulidae	sp	larva	B

B: bosque de pino; A: agroecosistema

9.3.2 Abundancia

Se colectaron un total de 1287 organismos (1003 en bosque de pino y 254 en agroecosistema) (Cuadro 6). Las proporciones destacadas del sitio bosque de pino fueron los quilópodos con el 36% (Fig. 14) el 26% los coleópteros en su estadio de larva y 16% las larvas de lepidóptero en contraste con los taxones Opilion, Orthoptera y Hemiptera, los cuales obtuvieron un 1%. En el sitio agroecosistema el 66% de la proporción de la abundancia estuvo representada por las larvas de coleóptero, el 12% por larvas de dípteros y el 9% por los ortópteros adultos, mientras que los dípteros en el sitio solo obtuvieron 2%, diplopodos el 3% y las arañas el 4%.

Brown *et al.* (2001) menciona que una alta abundancia de algunos organismos como larvas de escarabajos rizófagos, hormigas, larvas de lepidópteros herbívoros, pueden causar una considerable disminución de la biomasa aérea o de raíces, complicando el crecimiento, la absorción de agua y de nutrientes, como fue el caso del agroecosistema que presentó las mayores abundancias en este lugar, se han reportado la distribución de larvas de *Phyllophaga* en cultivos de avena y trigo (Weppler, 2008) los cuales se muestrearon en este estudio.

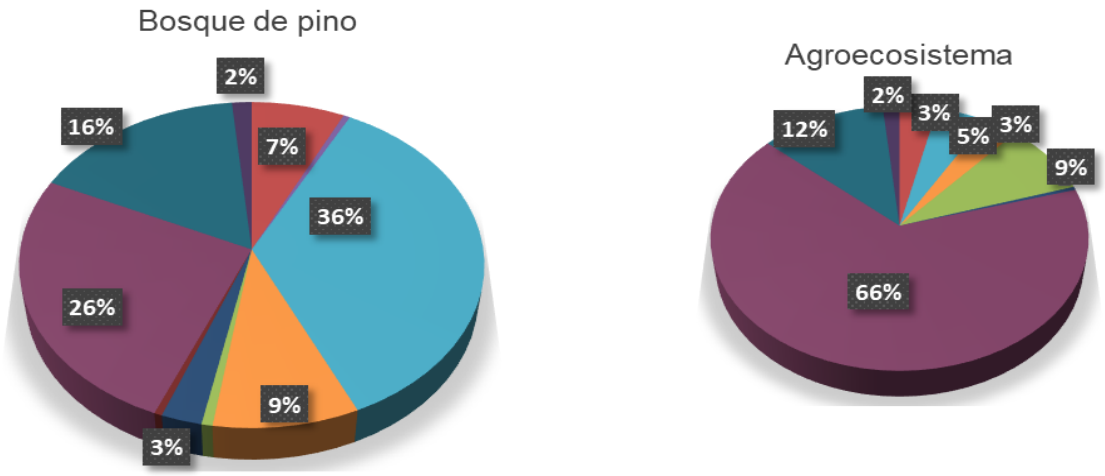


Figura 14. Proporción de la abundancia registrada en los sitios bosque de pino y agroecosistema del Parque Nacional La Malinche.

9.3.3 Densidad promedio

En el sitio de bosque de pino la densidad de artrópodos fue de 279.1 ± 30.3 individuos m^{-2}. De igual forma se obtuvo la densidad de los taxa que fueron más representativos, se descartaron aquellos valores mínimos de los grupos Hempitera, Coccininelidae y Chrysomelidae. La densidad de los artrópodos en el sitio de agroecosistema fue de 78.3 ± 10.9 individuos m^{-2} (Cuadro 6).

De la Rosa y Negrete (2012) en el estudio de la macrofauna en un bosque mesófilo la densidad promedio también obtuvo una proporción mayor de quilópodos, solamente superada por la familia Formicidae, en contraste con este estudio el grupo Chilopoda obtuvo la mayor proporción.

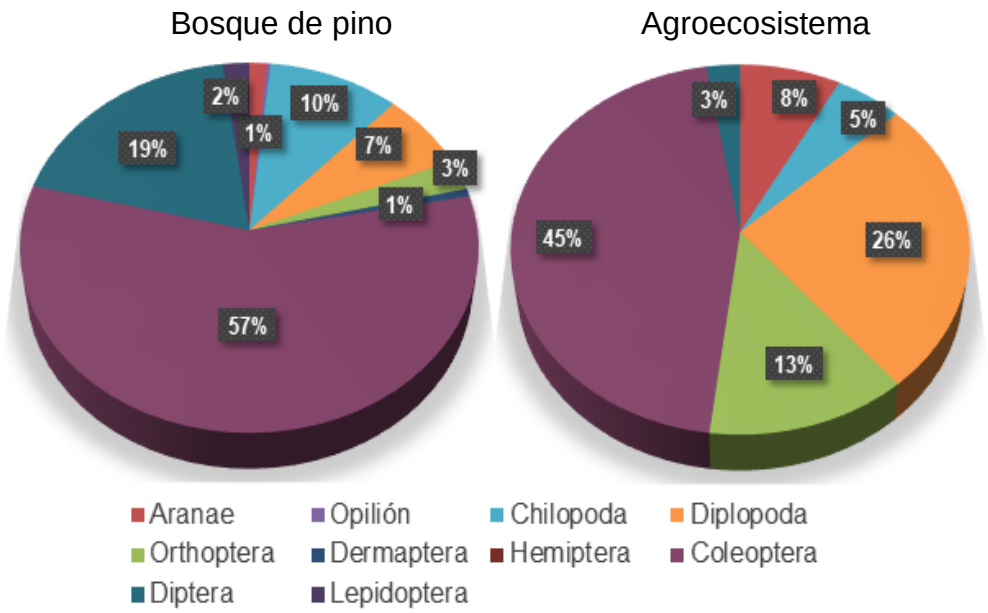


Figura 15. Proporción de la biomasa promedio registrada en los sitios en estudio del Parque Nacional La Malinche.

En cuanto a la densidad de los diplopodos se obtuvieron mayores valores en el bosque (41 individuos m^{-2}) y en el agroecosistema fueron escasos (3.5 individuos m^{-2}), esto pudiera deberse a que son animales preferentemente edáficos y se ven afectados severamente sus poblaciones con la perdida de la cubierta vegetal del bosque y la introducción de prácticas agrícolas y ganaderas (Bueno-Villegas y Rojas Fernández, 1999)

Para el grupo de los melolóntidos Morón *et al.* (2014) reporta densidades poblaciones de 20 a 120 larvas m^{-2} correspondiente a una veintena de especies de *Phyllophaga* consideradas como plagas subterráneas de importancia en diversos cultivos en el centro del país. Sin embargo, la densidad de los coleópteros obtenida en el bosque puede deberse a una variedad de larvas con diferentes preferencias alimentarias, mientras que en el sitio agrícola es probable que por el manejo agrícola se encuentren con mayor proporción de densidad promedio a individuos rizófagos.

Cuadro 5. Abundancia, densidad promedio y biomasa promedio registrada de los grupos taxonómicos muestreados en el Parque Nacional La Malinche.

Grupo	Abundancia		Densidad ind. m^{-2}		Biomasa g m^{-2}	
	B	A	B	A	B	A
Aranae	71	9	32.2	4.0	0.1	0.4
Opilión	5	0	2.2	0	0.04	0
Chilopoda	355	12	156	5.3	0.9	0.4
Diplopoda	93	8	41.3	3.5	1	2
Orthoptera	7	22	3.1	9.7	0.4	1
Dermaptera	26	1	11.5	0.4	0.1	0
Hemiptera	5	0	2.2	0	0	0
Coleoptera	258	168	114.4	74.6	8.4	3.5
Carabidae	10	20	4.4	8	3	0.4
Chrysomelidae	2	3	0	0	0	0
Coccinellidae	1	1	0	0	0	0
Curculionidae	20	12	8.9	5.3	0.2	0.01
Melolonthidae	171	87	79.1	38.8	3.1	0.8
Staphylinidae	44	18	19.5	7.9	0.9	0.02
Tenebrionidae	1	23	8.4	11.1	0	0.4
Diptera	164	30	72.8	13.3	2.8	0.2
Lepidoptera	15	4	5.3	0.8	0.3	0

B: bosque de pino; A: agroecosistema

9.3.4 Biomasa promedio

La biomasa promedio en bosque de pino fue de 9.6 ± 1.9 g m^{-2} y para el agroecosistema 5 ± 1.2 g m^{-2} (Fig.15). El grupo que tuvo mayor aporte a la biomasa promedio fueron los coleópteros con el 57% en bosque de pino y 45% en agroecosistema. Para el grupo de los melolóntidos en ambos sitos (38%) tiene una variación en el año, dependiendo de las especies, su estado larvario y su desarrollo la biomasa tendrá un aporte diferente (Morón, 2001). Las larvas de melolóntidos respecto al estrato se encontraron el 30% en el estrado de 10 – 20 cm, el 28% en

de 0 – 10 cm y el 31% en la profundidad 20 – 30 cm y el 1% restante en hojarasca. En el sitio agrícola la mayor proporción con el 66% se ubicó en el estrato 0 – 10 cm, 20% en el estrato 20 – 30 y 14% en la profundidad 20 – 30 cm.

Los organismos del grupo de los Diplopoda en el agroecosistema aportaron el 26% de la biomasa promedio en contraste con su baja proporción de abundancia promedio del 3%, esto puede deberse a que los organismos encontrados en el sitio eran de gran tamaño, sin embargo, su abundancia fue baja en el área, mientras que en el sitio bosque de pino la abundancia fue mucho mayor que el aporte de biomasa del 7% debido a que en este sitio se obtuvieron especies de tamaño pequeño.

En el sitio bosque de pino se registró una mayor proporción de artrópodos epigeos con el 42% en el estrato hojarasca mientras que en la profundidad 0 – 10 cm con el 34%, en el sitio agroecosistema el 46% de los artrópodos se distribuyeron en el estrato 0 – 10 cm, 46% en el estrato 10 – 20 cm y solo 8% en el estrato más profundo.

X. CONCLUSIONES

El Parque Nacional La Malinche en el bosque de pino y agroecosistema presenta una composición de siete especies de oligoquetos y 67 morfoespecies de artrópodos para la macrofauna edáfica.

De la fauna de oligoquetos en el bosque de pino se ubican las especies exóticas *A.trapezoides, D. rubidus, D. octaedra, L. rubellus, O. tyrtaeum* y las especies nativas *Z. amecamecae* y *P. acaxetlensis.* En el agroecosistema del Parque Nacional La Malinche se obtuvo una composición de especies *A. trapezoides, L. rubellus* y *O. tyrtaeum,* todas de origen exótico y con una riqueza de tres especies. La especie con el mayor aporte de biomasa fue *Z. amecamecae*, una especie nativa y endógea.

En la artropodofauna uno de los grupos con mayor representatividad en la abundancia, densidad y biomasa son los coleópteros de la familia Melolonthidae tanto en ecosistema de pino como en agroecosistema, por lo que se le considera un grupo clave en la biota edáfica.

XI. LITERATURA CITADA

Anderson, J.M. y Ingram, J.S.I. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility, a Handbook of Methods.* CAB International.

Baloriani, G. I., Marasas, M., Benamú, M. A., y Sarandón, S. J. (2010). Estudio de la macrofauna edáfica (orden araneae). Su riqueza y abundancia en invernáculos sujetos a un manejo convencional y en transición agroecológica. Partido de La Plata, Argentina. *Agroecología*, *5*, 33 – 40.

Barois, I., Dubroeucq, D., Rojas, P. & Lavelle, P. (1998). Andosol-forming process linked with soil fauna under the perennial grass *Mulhembergia macroura. Geoderma, 86,* 241 – 260.

Bello-Morales, F., Sandoval-Ruíz, C. y Estrada, A. (2020). Diversidad de Asílidos (Diptera:Asilidae) en una Selva Baja Caducifolia del Centro de México. *Acta Zoologica Mexicana*, *36,* 1 – 13.

Blanchart, E., Albrecht, A., Alegre, J., Duboisset, A., Villenave, C., Pashanasi, B., Lavelle., P. & Brussaard, L. (1999) Effects of Earthworms on Soil Structure and Physical Proprerties. In Lavelle, P., Brussaard, L. & Hendrix, P. (eds.) *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems,* 149 – 172.

Borror, D.J., Triplehorn, C.A. y Johnson, N.F. (1989). *Introduction to the study of insects*. Saunders College Publishing.

Brown, G., Moreno, A.G., Barois, I., Fragoso, C., Rojas, P., Hernández, B. & Patrón, C. (2004). Soil macrofauna in SE Mexican pastures and the effect of conversion from native to introduced pastures. *Agriculture Ecosystems & Environment, 313 – 327.*

Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J.C., Bueno, J., Moreno, A., Lavelle, P., Ordaz, V. y Rodríguez, C. (2001). Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana,* 79-11.

Bueno-Villegas y Rojas-Fernández (1999). Fauna de milpiés (Arthropoda: Diplopoda) edáficos de una selva alta de Los Tuxtlas, Veracruz. México. *Acta Zoologica Mexicana*. *76*, 59 - 83.

Capul-Magaña (2011) Guía para la determinación de las familias de ciempiés (Myriapoda: Chilopoda) de México. *Interciencia, 36*, 853 – 859.

Cervantes, G. (2012). *Filogenia y Biogeografía del Género Zapotecia* (Oligochaeta: Acanthodrillidae). INECOL A.C.

Cervantes, G. y Fragoso, C. (2018). *Protozapotecia acaxetlensis* and *Protozapotecia oyametlensis*, two new earthworm species (Crassiclitellata: Acanthodrilidae) from Mexican central mountains. *Zootaxa,* 431 - 433.

Cervantes, G., Fragoso, C., Espinosa de Los Monteros, A., Sánchez-Ramos, G., Lara-Villalón, M., Yáñez-Pacheco, M., Lázaro-Castellanos, J.O. y James, S. (2016). New species of the earthworm genus Zapatadrilus (Clitellata, Acanthodrilidae) from northern Mexico, *Zootaxa*.

Chu, H.F. (1947). *The Immature Insects*. M. C. Brown Company Publishers.

Cifuentes-Ruíz, P. y Zaragoza-Caballero, S. (2014). Biodiversidad de Tenebrionidae (Insecta: Coleoptera en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *85,* 325-331.

CONANP (2013). *Programa de Manejo Parque Nacional La Montaña Malinche o Matlalcuéyatl.* CONANP.

De la Rosa, I.N. y Negrete, S. (2012). Distribución espacial de la macrofauna edáfica en bosque mesófilo, bosque secundario y pastizal en la reserva La Cortadura, Coatepec, Veracruz, México. *Red Mexicana de Biodiversidad, 83 (1)*, 201 – 215.

FAO, ITPS, GSBI, CBD y EC (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Global Soil Biodiversity Initiative, Secretariat of the Convention on Biological Diversiti, European Commission. (2020). *State of knowledge of soil biodiversity -Status, challenges and potentialities, Report 2020.* Roma.

Fragoso, C., Rojas, P., Alvarez, F.J., Barajas, G., Marinez, M. y Martinez, F. (2019). *Protozapotecia unamensis sp. nov*. (Annelida: Crasiclitellata: Acanthodrilidae), una nueva especie de lombriz de tierra de los bosques de oyamel de la Ciudad De México. *Revista Mexicana de Biodiversidad.*

Fragoso, C. y Rojas, P. (2018). New Diplotrema and Lavelodrilus earthworm species from southern Mexico (Annelida, Crassiclitellata, Acanthodrilidae). *Zootaxa.*

Fragoso, C. y Rojas, P. (2014). Biodiversidad de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta: Crassiclitellata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad.*

Fragoso, C.E. (2005). Las lombrices de tierra. En Sánchez-Ramos, G., Reyes-Castillo, P. y Dirzo, R. (eds.) *Historia Natural de la Reserva de la Biosfera* El Cielo, *Tamaulipas, México.* Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Fragoso, C.E. (2001). Las lombrices de tierra en México (Annelia, Oligochaeta). *Acta Zoológica Mexicana.*

Francke, O. (2014). Biodiversidad de Arthropoda (Chelicerata: Arachnida ex Acari) en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85, 408 – 418.

García, J.A., Barois, I., Bueno, J., Fragoso, C., Kram, S., Meza, E., Morón, M.A., Negrete, S., Rojas, P., De los Santos, M. y Sormani, C. (2017). Conservación y manejo de la biodiversidad en la región de Los Tuxtlas, Veracruz, México: la macrofauna del suelo en la sierra de Santa Marta. En Reynoso, V.H., Coates, R. I. y Vázquez. M.L. (eds.). *Avances y Perspectivas en la Investigación de los Bosques Tropicales y sus Alrededores: la Región de Los Tuxtlas.* Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

García De Jesús, S., Morón M.A. y Aragón, A. (2013). Capítulo 7. Región del Matlalcuéyetl (La Malinche). En Morón, M.A., Aragón-García, A. y Carrillo-Ruíz, H. (eds.). *Fauna de Escarabajos del estado de Puebla*. Escarabajos Mesoamericanos, A.C., 147 – 168.

Guilland, C., Maron, P.A., Damas, O. & Ranjard, L. (2018). Biodiversity of urban soils for sustainable cities. *Environmental Chemistry Letters, 16,* 1267 – 1282.

Hernández-Gutiérrez, E., Bernal-Mendoza, H., Pérez-Luna, Y., Jiménez-García, D., Hernández-Linares, M. G. (2018). Salud del suelo en tres agroecosistemas de maíz en el centro de Puebla, México. Cuadernos de Agroecología.

Huerta, E., Brown, G. y Bautista. F. (2011). Macroinvertebrados del suelo y lombrices de tierra. En Bautista, F., Palacio, J.l. y Paéz, R. (eds.). *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Juárez-Ramón, D. y Fragoso, C. (2014). Comunidades de lombrices de tierra en sistemas agroforestales intercalados, en dos regiones del Centro de México. *Acta Zoológica Mexicana.*

Lavelle, P., Mathieu J., Spain A., Brown G., Fragoso C., Lapied E., De Aquino A., Barois I., Barrios E., Barros M. E., Bedano J. C., Blanchart E., Caulfield M., Chagueza Y., Dai J., Decaëns T., Domínguez A., Domínguez Y., Feijoo A., Folgarait, P., Fonte, S.J., Gorosito, N., Huerta, H., Jimenez, J., Kelly, C., Loranger, G., Marchao, R., Marichal, R., Praxedes, C., Rodriguez, L., Rousseau, G., Rousseau, L., Ruiz, N., Sanabria, C., Suarez, J.C., Tondoh, J., De Valencia, A., Vanek, S. Vasquez, J., Velasquez, E., Webster, E. y Zhang, C. (2022). Soil macroinvertebrate communities: A world-wide assessment. *Global Ecology and Biogeography.*

Lavelle, P., Spain, A., Blouin, M., Brown, G., Decaens, T., Grimaldi, M., Jiménez, J.J., McKey, D., Mathieu, J., Velasquez, E. y Zangerle, A. (2016). Ecosystem Engineers in a Self-organized Soil: A Review of Concepts and Future Research Questions. *Soil Science*.

Lavelle P. (1997). Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. In Begon M., & A. H. Fitter (eds.). *Advances in Ecological Research,* 93 – 132.

Mora-Estrada, León Felipe de la, Ruiz-Montoya, Lorena, Ramírez-Marcial, Neptalí, Morón-Ríos, Alejandro, & Mayorga-Martínez, María Cristina. (2017). Diversidad de chinches (Hemiptera: Heteroptera) en bosques secundarios de pino-encino de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, *88* (1), 86 - 105.

Morón, M.A., Noguera, G., Rojas-Gómez, C. y Arce-Pérez, R. (2014). Biodiversidad de Melolonthidae (Coleoptera) en México. *Revista de Biodiversidad. 85,* 298 – 302.

Morón, M.A. (2001). Larvas de escarabajos del suelo en México (Coleoptera: Melolonthidae). *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie).* INECOL A.C., 111 - 130.

Morón, M.A. (1993). Las especies de Phyllophaga (Coleoptera:Melolonthidae) del estado de Veracruz Méx. En Morón, M.A. (comp.). *Diversidad y manejo de plagas subterráneas.* Sociedad Mexicana de Entomología e Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz, México, 55 – 82.

Morón, M.A. y Terrón, R.A. (1988). *Entomología práctica: una guía para el estudio de los insectos con importancia agropecuaria, médica, forestal y ecológica de México*. Instituto de Ecología A.C.

Morrone, J. (2014) Biodiversidad de Curculionoidea (Coleoptera) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad.* 312 - 324.

Navarrete-Heredia, J., Newton, M.K., Thayer, M., Ashe, J. y Chandler, D. (2002). *Guía ilustrada para los géneros de Staphylinidae (Coleoptera) de México.* Universidad de Guadalajara y Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad.

Negrete-Yankelevich, S., Cultid-Medina, C.A., Fuentes-Pangtay, T., Álvarez-Sánchez, J., Silke, C., García-Pérez, J. A., Fragoso, C., Martínez-Romero, E., Rojas, P., Varela-Fregoso, L., Bueno-Villegas, J., Barois, I. (2020). Disentangling the effects of legacies from those of current land use on soil properties in Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Mexico. *Applied Soil Ecology*.

Nielsen, U. (2019). *Soil Fauna Assemblages: Global to Local Scales*. Cambridge University Press.

Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I.,Chotte, J-L., De Deyn, G.B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund,K., Jeffery, S., Johnson, N.C., Jones, A., Kandeler, E., Kaneko, N., Lavelle,P., Lemanceau, P., Miko, L., Montanarella, L., Moreira, F.M.S., Ramirez,K.S., Scheu, S., Singh, B.K., Six, J., van der Putten, W.H., Wall, D.H. (2016). *Global Soil Biodiversity Atlas*. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 176.

Palacios, J., Mejía, B. y Oyarzabal, A. (2014). *Guía ilustrada para los artrópodos edáficos.* UNAM. México.

Ramírez, W., García, Y., Sánchez, S., López, M. y Hernández, L. (2014). Caracterización de la macrofauna edáfica en sistemas de producción intensiva de césped. *Pastos y Forrajes, (37)* 2. 158 - 165.

Reynolds, J.W. (1977). The earthworms (Lumbricidae and Sparganophilidae) of Ontario. *Life Sciences Miscellaneous Publications.* Royal Ontario Museum.

Servicio Meteorológico Nacional (2023) *Normales Climatológicas por Estado.* Disponible en: https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado

Statgraphics, “Centurion XV Version 15.2.06. 1982-2007,” StatPoint, Inc., Herndon, 2007.

Swift, M., Bignell., D., Moreira, F. y Jeroen, E. (2012). Capitulo1: El inventario de la biodiversidad biológica del suelo: conceptos y guía general. En Moreira, F., Jeroen, E., y Bignell, D (eds.). *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. Instituto Nacional de Ecología, México.

Swift, M., Heal, O.W. & Anderson, J.M. (1979). *Decomposition in terrestrial ecosystems.* University of California Press.

Tapia, S.C., Teixeira, L.A., Velásquez, E., y Waldez, F. (2016). Macroinvertebrados del suelo y sus aportes a los servicios ecosistémicos, una visión de su importancia y comportamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal, 8,* 260 – 267.

Vela-Correa, G., Vázquez-Martínez, B.E., Rodríguez-Gamiño, M.L. y Domínguez-Rubio, I. (2007). Caracterización edáfica de sitios con regeneración natural de *Pinus montezumae* Lamb. en el volcán La Malinche, México. *Agrociencia, 41*(4), 371 - 383.

Weppler, R. (2008). *Industry Biosecurity Plan for the Grains Industry Threat Specific Contingency Plan, Phyllophaga genus*. Plant Health Australia.