



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

“MACROFAUNA EDÁFICA ASOCIADA A UN BOSQUE DE
PINO CON APROVECHAMIENTO FORESTAL EN
ELOXOCHITLÁN, ZACATLÁN, PUEBLA”

T E S I S

Tesis que para obtener el Título de

LICENCIADO EN BIOLOGIA

Presenta:

Ulises Hernández Hernández

Director:

Dr. Agustín Aragón García

Codirector:

Dr. Arcángel Molina Martínez



CIUDAD UNIVERSITARIA

Junio 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por haberme dado la oportunidad de estudiar y formar parte de esta casa de estudios.

A la VIEP de la BUAP por el apoyo económico a través del proyecto: Diversidad de escarabajos y mariposas en paisajes naturales y bajo manejo antropogénico en la sierra Norte de Puebla.

Dr. Agustín Aragón García

Le agradezco su valiosa orientación, aportación, confianza y apoyo que me ha brindado durante el desarrollo de la tesis.

Dr. Arcángel Molina Martínez

Le agradezco profundamente por ser un maestro ejemplar y sobre todo un amigo, con una gran calidad humana, que me impulso y apoyo incondicionalmente para la realización de esta Tesis.

M. en C. Gonzalo Yanes Gómez

Por su valiosa aportación, sugerencias y revisión del manuscrito, además por formar parte del jurado en el examen profesional.

Dr. José Lino Zumaquero Ríos

Por su contribución a la revisión del manuscrito y por formar parte del jurado.

Dra. Betzabeth Cecilia Pérez Torres

Por su amistad y apoyo durante todo el tiempo de estar en el laboratorio.

A los ejidatarios de Eloxochitlán

A Don Nazario, a la señora Delfina, al promotor José Luis, Felipe, Brenda y a todas las personas de la comunidad que asistieron a las colectas en campo, sobre todo por su apoyo y facilidades que me dieron para la realización de este trabajo, ya que sin ellos no sería posible culminar esta tesis.

A la Unión de Ejidos de la Sierra Norte de Puebla

A los ingenieros agroforestales, Luis, Luis Miguel, Lidia por su apoyo en el trabajo de campo.

A mi familia por quererme y apoyarme toda la vida.

DEDICATORIAS

A mis papás

José Hernández Corona y Lydia Hernández Marin

A ustedes por apoyarme incondicionalmente, por sus consejos, por su dedicación y sobre todo por su amor, estoy muy orgulloso de ustedes.

A mis hermanas

Yesenia y Alondra

A ustedes por estar conmigo en las buenas y en las malas, por protegerme y siempre preocuparse por mí, las quiero mucho.

Sobrina

Melany

Eres una gran bebé, estoy muy orgulloso y feliz de que estés con nosotros, te quiero mucho y cuando seas más grande, espero puedas leer estas palabras.

A mi familia en general paterna y materna, a todos muchas gracias.

A mis amigos del laboratorio

Emma, Carlitos, Don Dani, a la maestra Anita, por todo este tiempo, gracias por su confianza y amistad.

A mis amigos de la Escuela de Biología

Iván Bravo, José Efraín, Juan Contreras, Juan Luis, Chuy, Quique, Jorch, Angelito, Manuel, Lupita, Karla, Sara, Marlene, Fer y muchos más amigos, gracias por pasar tiempo conmigo, nunca los olvidare.

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIAS

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 La importancia de la biodiversidad de los macroinvertebrados edáficos.....	10
2.2 Composición de las comunidades de macroinvertebrados asociados a bosques de pino.....	10
2.3 Manejo antropogénico.....	11
3. ANTECEDENTES.....	12
3.1 Macrofauna como bioindicador de la degradación del suelo.....	12
3.2 Consecuencias de la pérdida de biodiversidad.....	13
3.3 La diversidad biológica; mesofauna, macrofauna y microdepredadores.....	13
3.4 Efecto del manejo antropogénico sobre la macrofauna edáfica.....	16
4. JUSTIFICACIÓN.....	17
5. OBJETIVOS.....	18
5.1 Objetivo general	
5.2 Objetivos particulares	
6. HIPÓTESIS.....	18
7. Material y Métodos	
7.1 Área de estudio.....	19
7.2 Diseño de muestreo.....	20
7.3 Análisis estadístico.....	24
8. Resultados y Discusión.....	26
8.1 Riqueza de especies.....	26
8.2 Fenología de la macrofauna edáfica en el área de estudio.....	31
8.3 Diversidad de especies.....	33
9. Conclusión.....	41
10. Recomendaciones.....	42
11. Literatura citada.....	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1. Especies encontradas en el área de estudio y las abundancias que presentaron en las cuatro zonas del muestreo. 26
2. Se muestra el número de especies observadas y el porcentaje de cobertura estimado de la muestra. 27
3. Valores de diversidad y de dominancia obtenidos para cada uno de los sitios evaluados 33
4. Valores de diversidad beta para cada par de sitios evaluados, se muestra el valor del índice de Jaccard modificado por Chao. 36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1. Ubicación del ejido Eloxochitlán. 20
2. Ilustración de los sitios de muestreo. Zona de Conservación, Bosque Maduro, Bosque Intermedio y Zona de aprovechamiento. 21
3. Muestreo de fauna edáfica en el área de estudio del ejido Eloxochitlán, Puebla. 22
4. Etiqueta depositada en los frascos, para la colecta en campo. 23
5. Curva de rarefacción basada en los sitios evaluados. 28
6. Ejemplares de la macrofauna colectados en el ejido Eloxochitlán. 31
7. Número de individuos colectados en los 12 meses de muestreo en: Zona de conservación, Bosque maduro, Bosque intermedio y Zona de aprovechamiento. 32
8. Dinámica total de poblaciones de la macrofauna edáfica en los meses de muestreo, encontrados en las cuatro zonas de colecta en la localidad del Eloxochitlán, Zacatlán Puebla. 33
9. Valores del índice de Shannon y Simpson para cada uno de los sitios evaluados. 34
10. Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) entre las comunidades estudiadas. 37

RESUMEN

El presente trabajo evalúa la importancia de la diversidad, dominancia y composición de las comunidades de macroinvertebrados edáficos asociadas a un bosque de pino bajo manejo forestal, en la localidad de Eloxochitlán en el municipio de Zacatlán, Puebla. A partir del muestreo realizado en cuatro zonas diferentes: un bosque maduro (BM), bosque intermedio (BI), zona de conservación (ZC) y una zona de aprovechamiento (ZA); se analizaron las comunidades que constituyeron cada uno de los grupos dependiendo de la estacionalidad y el grado de perturbación. Para evaluar a la macrofauna edáfica se utilizó el método TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility Programme) que consiste en hacer un monolito de suelo con medidas de 30 cm de largo por 30 cm de ancho y 50 cm de profundidad, en el cual se registraron todos los organismos de interés avistados. Se obtuvieron 63 ejemplares de coleópteros pertenecientes a los géneros *Diploptaxis*, *Odontotaenius*, *Phyllophaga*, *Conoderus*, *Glyptotus*, *Centronopus*, *Agriote*. De estos, cuatro especies fueron representadas por adultos que se obtuvieron del suelo, estos fueron *Odontotaenius zodiacus* (Truqui, 1857), *Phyllophaga blanchardi* (Arrow, 1933), *Diploptaxis sp. Aff tumida* Vaurie, 1960 y *Diploptaxis simplex* Blanchard, 1950. Los organismos más representativos de otros grupos de macrofauna edáfica fueron: el género *Stenopelmatus* (Haldeman, 1852) en Ortópteros; así como los miriápodos *Geophilus* (Leach, 1814), Spirobolida (Bollman, 1893), Glomeris (Brant, 1883) y la clase Symphyla. El manejo antropogénico no afectó de manera significativa los niveles de diversidad y dominancia de las comunidades estudiadas, sin embargo, la composición de especies de las comunidades varió de manera importante entre los sitios estudiados.

I. INTRODUCCIÓN

Los bosques de pino, se distribuyen en zonas montañosas, con climas fríos o templados en altitudes superiores a los 1800 m.s.n.m. Albergan un gran número de especies de macroinvertebrados ya que presentan suelos con abundante materia orgánica y hojarasca. La materia orgánica es considerada como la base de la vida en los bosques de pino y en otros ecosistemas, estos restos de hojarasca y ramas son un requerimiento para la fertilidad y el ciclo de nutrientes del suelo (Cutz, 2008). Los macroinvertebrados del suelo al ser organismos muy diversos, forman parte de numerosos procesos en el ecosistema como: la redistribución de materia orgánica, retención de agua, infiltración y drenaje del suelo (Carter *et al.*, 1982). Estos organismos tienen un rol muy importante en los bosques de pino pues su diversidad es necesaria para mantener el funcionamiento del bosque.

Dentro de la comunidad de la macrofauna de invertebrados se incluyen diversos grupos entre los cuales están: Anélidos, representados por la familia Lumbricidae (lombrices de tierra), distintos grupos de artrópodos como Diplópodos (milpiés) y diversos grupos de insectos como Hymenoptera (hormigas), Coleóptera (gallinas ciegas), Orthoptera (caras de niño) y Blattodea (cucarachas). Las lombrices de tierra y los milpiés forman posiblemente el grupo más importante del suelo en regiones templadas, pero en ambientes tropicales prevalecen termitas y hormigas. Los coleópteros están representados mayormente por estadios larvales las cuales consumen raíces o materia orgánica, en casos estrictos pueden consumir ambos recursos (facultativas). Los milpiés son degradadores de la materia orgánica en el ciclo de nutrientes del suelo, sin embargo, un buen grupo de estos macroorganismos pueden ser depredadores. Los saltamontes y cucarachas, cumplen los

mismos procesos que las lombrices y miriápodos, pero su participación es mucho menor. En bosques de pino con aprovechamiento forestal, donde las bajas temperaturas perduran a lo largo del año, la descomposición por macroorganismos se hace más lenta y la riqueza y abundancia de la fauna del suelo se ve reducida, lo cual ocasiona que gran parte de los residuos vegetales permanezcan durante un largo tiempo en el suelo (García & Chamorro 1990).

Se ha sugerido que los ecosistemas forestales deben orientarse para que su aprovechamiento permita mantener bosques manejados que sean ecológica, y económicamente sustentables. Buscando siempre que puedan seguir generando a largo plazo bienes y servicios sin perjudicar a la biodiversidad que ellos albergan. En este sentido, se ha reportado que la diversidad, densidad y heterogeneidad de comunidades de macrofauna del suelo varían dependiendo del grado de conservación de sus hábitats (De la Rosa y Negrete *et al.*, 2012), de igual manera, la perturbación antropogénica ha sido asociada con la reducción en la diversidad de este grupo de organismos (García & Chamorro 1990; León *et al.*, 2010). Estos cambios en los niveles de diversidad asociados a actividades humanas hacen necesario realizar estudios sobre la macrofauna edáfica que evalúen las implicaciones ecológicas del aprovechamiento forestal en bosques templados.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 La importancia de la biodiversidad de los macroinvertebrados edáficos

El uso del suelo es una prioridad social y económica, su utilización debe pretender el cuidado físico, químico y biológico de este recurso para todos los seres vivos. Los macroinvertebrados son organismos que desintegran, incorporan y trasladan el suelo a través de la construcción de galerías, compartimientos y sitios de alimentación que al mezclar con materia orgánica transforman en abono. Para sobrevivir en el suelo los organismos, han tenido que desarrollar aptitudes para subsistir en un ambiente denso, espeso, apretado y resistente, con una casi nula aglutinación de oxígeno y luz, con amplias alteraciones microclimáticas (Lavelle *et al.*, 1992). Estos macroinvertebrados presentan tamaños que van desde los 2 a los 20 mm, forman grandes poblaciones en el suelo y por medio de un sistema edáfico escalonado actúan como elementos determinantes en su fertilidad, tienen un papel importante en la regulación y distribución del agua en el suelo, así como en la regulación de los efectos de varios agentes contaminantes.

2.2 Composición de las comunidades de macroinvertebrados asociadas a bosques de pino

Los bosques de pino tienen un gran valor ambiental, económico y biológico para los seres humanos, ya que abastecen de agua los mantos freáticos, son objeto de aprovechamiento forestal y presentan una elevada diversidad y endemismo de organismos en su superficie y en sus suelos. La composición de la comunidad de macrofauna del suelo es un factor muy

importante en estos ecosistemas. Estas comunidades modifican y estructuran el suelo, así como organizan la función de otros invertebrados más pequeños (Coleman *et al.*, 2004). Las propiedades químicas y físicas del suelo pueden ser detectadas por los cambios en las poblaciones y comunidades de los invertebrados edáficos. Estos invertebrados incluyen a escarabajos, caras de niño, cienpies, milpiés entre otros, son significativamente numerosos en cuanto a su densidad, composición y distribución en los suelos de bosques con ambientes propicios y con gran disponibilidad de recursos (Coleman *et al.*, 2004).

2.3 Manejo antropogénico

El disturbio antropogénico representa una afectación importante a las poblaciones de flora y fauna silvestres. Desde un principio los seres humanos han logrado subsistir a costa de las especies que se localizaban a su alrededor. A lo largo de muchos años estos beneficios eran por la extracción eventual de plantas y animales, aprovechamiento restringido y domesticación. En tiempos actuales se ha presentado una sobreexplotación que ha generado la desaparición y deterioro local o regional de poblaciones de especies vulnerables a cambios repentinos generados por el hombre (Canter, 1998). Para combatir este problema, se ha desarrollado un manejo forestal que considera el aprovechamiento de los recursos con base en aspectos sociales, ecológicos y económicos, orientado a la cosecha de productos o la provisión de servicios ambientales de acuerdo con las capacidades del ecosistema. Comprende las decisiones y actividades encaminadas al aprovechamiento de los recursos forestales de manera ordenada, procurando satisfacer las necesidades de la sociedad actual,

sin comprometer la provisión de bienes y servicios para las generaciones futuras (Aguirre-Calderón, 2015).

III. ANTECEDENTES

Una de las estrategias para establecer medidas de conservación y manejo de los bosques de pino se basa en conocer la diversidad de organismos que habitan en él. Estas evaluaciones se realizan generalmente a través de medidas de diversidad alfa y beta. La diversidad alfa se considera como la riqueza biológica de un determinado sitio o hábitat, o bien el número de especies en una localidad. La diversidad beta se considera como el recambio de especies entre una zona y otra, dicho de otra manera, la variación espacial en la composición de especies en distintas localidades.

3.1 Macrofauna como bioindicador de la degradación del suelo.

La importancia de la macrofauna reside en su función en el suelo y en los ecosistemas. Su papel en el funcionamiento e interacción con las propiedades físicas y químicas del suelo ha llevado a que algunos grupos de macrofauna sean utilizados como bioindicadores. De acuerdo a Giller *et al.*, (1997) los suelos alojan las comunidades biológicas más diversificadas del planeta, se ha estimado que pueden contener más de 5 millones de especies de artrópodos (Lavelle *et al.*, 1992). Petersen y Luxton (1982) evaluaron los procesos de descomposición y degradación que se llevan a cabo en estos tipos de ecosistemas y las combinaciones que se realizan entre los componentes, físicos, químicos y biológicos. Relacionando procesos de degradación y las apreciaciones de biomasa y

densidad de fauna edáfica, a procesos químicos como la humedad y el pH. Reportan que la influencia de la macrofauna en el suelo en los procesos de descomposición, comunicación y circulación de nutrientes, hacen tener una competencia inter e intraespecífica por los recursos, aunado al consumo, asimilación, respiración y producción de eficiencia energética.

3.2 Consecuencias de la pérdida de biodiversidad

La diversidad biológica tiene un valor intrínseco más allá de su valor económico y práctico. La pérdida de biodiversidad producto de la contaminación y el cambio de uso de suelo conduce entre otros aspectos a una alteración en la retención de agua y los ciclos de nutrientes en los ecosistemas, la modificación del ciclo de fósforo y nitrógeno, la modificación de las cadenas tróficas y la proliferación de especies generalistas. Las actividades humanas tienen efectos a diferentes escalas por lo cual, la pérdida de biodiversidad puede generar una sucesión de factores que podrían ser determinantes para el futuro de los ecosistemas (Lavelle *et al.* 1993).

3.3 La diversidad biológica; mesofauna, macrofauna y microdepredadores

Uno de los principales trabajos que desempeñan los organismos del suelo, depende abundantemente de la efectividad de su sistema digestivo y a la vez de su interacción con la restante biota del suelo. (Lavelle, 1996). Con base en lo anterior se pueden reconocer tres grupos de invertebrados en el suelo el grupo de los Coleóptera, Myriapoda y Ortóptera.

Uno de los grupos más importantes en cuestión de especies son los coleóptera (escarabajos) que también se desarrollan en este, pupan y salen como adultos de el, se presenta la siguiente clasificación del grupo Coleóptera.

Clasificación del Orden Coleóptera de acuerdo a Brusca *et al.*, 2016 es la siguiente:

Reino: Animal

Phylum: Arthropoda

Clase: Insecta

Subclase: Pterygota

Infraclase: Neoptera

Orden: Coleoptera

Subórden: Adephaga

Archostemata

Myxophaga

Polyphaga

Una de las asociaciones importantes son los transformadores de la hojarasca, lo integran los organismos de la mesofauna, generadores de estructuras edáficas que benefician al flujo de aire y la infiltración de agua, mejorando considerablemente sus propiedades físicas, los representantes de este grupo se caracterizan por ser muy perceptivos a las alteraciones naturales y antrópicas, las cuales forman cambios en su composición específica y en la abundancia, ocasionando pérdida de especies y diversidad, implicando un descenso a la fertilidad y estabilidad.

La macrofauna ocupa un amplio rango de nichos ecológicos implicando a los grupos constituidos por todos los organismos mayores a 2 mm como miriápodos degradadores con una significación importante, se presenta su organización más general, cucarachas, ortópteros, escarabajos etc., en los cuales sus hábitos de alimentación, movimientos, excreciones y su muerte tiene impacto directos e indirectos en su hábitat.

La clasificación del subfilo Myriapoda de acuerdo a Brusca *et al.*, 2016 es la siguiente:

Reino: Animal

Phylum: Arthropoda

Subfilo Myriapoda

Clase: Diplopoda

Subclase: Penicillata

Chilognatha

Chilopoda

Notostigmophora

Pauropoda

Symphyla

El grupo de los microdepredadores incorporan a los invertebrados más pequeños, los protozoos y nematodos, su función principal es el de inducir la mineralización de la materia orgánica en descomposición.

Por último, encontramos al grupo de los ingenieros del ecosistema, lombrices, hormigas y termitas que modifican la estructura, disponibilidad y entrada de recursos para otros organismos de la biota, además de alterar la estructura de comunidades de otros individuos presentes en el suelo, formando nidos, galerías, cámaras y montículos, estas estructuras

sirven como hogar de invertebrados más pequeños o microorganismos, en el cual ocurren procesos pedológicos importantes como: la incitación de la actividad microbiana, la creación de la estructura del suelo y el intercambio de gas y agua.

3.4 Efecto del manejo antropogénico sobre la macrofauna edáfica

La disminución de la riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica producida por el manejo antrópico en bosques y parcelas de labranza genera preocupación en este tipo de sistemas. Arroyo & Iturrondobeitia (2006) determinaron la diversidad de artrópodos mayores a 2 mm en bosques sin perturbación y sistemas agrícolas. Reportan que el índice de riqueza de especies en bosque es mayor en contraste con las parcelas de agroecosistemas que tienen un manejo de fertilización a través de la aplicación de agroquímicos y un manejo común en los cultivos. El trabajo realizado por Tapia-Rojas (2005) evaluó la riqueza de larvas de coleópteros edáficos en ambientes forestales en dos regiones del estado de Puebla (Teziutlán y el Parque Nacional Izta-popo). Registra que en suelos franco-arenosos, el género mejor representado fue *Phyllophaga* seguido por el género *Orizabus*. En este trabajo se sugiere que las larvas de Melolonthidae prefieren los suelos con herbáceas y con luz directa. Lavelle (1996) nos da un panorama más amplio sobre la importancia de los macroinvertebrados en los suelos y su papel fundamental en el ciclo de nutrientes de los mismos. Correlacionando la riqueza y diversidad de especies entre comunidades que tienen poblaciones desiguales en el suelo o con distribuciones diferentes.

IV. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo evalúa la variación de la diversidad de especies en un bosque de pino con aprovechamiento forestal, buscando responder si ¿El manejo forestal, está afectando a la macrofauna edáfica? La vinculación entre las instituciones educativas y el sector económico en regiones rurales es de vital importancia para establecer vínculos participativos que permitan que las actividades de explotación de los recursos naturales se realicen en un marco de sustentabilidad que permitan generar un desarrollo local o regional sostenible a largo plazo. La importancia de realizar este trabajo reside en que el manejo forestal es una actividad de suma importancia para la región donde se desarrolló este estudio. Por lo tanto, evaluar los factores que están inmersos en esta práctica proporcionará información básica para apoyar la generación de recomendaciones para el desarrollo de esta actividad. Asimismo, dado que el suelo es uno de los componentes primordiales de los ecosistemas explorar la respuesta de los organismos que se desarrollan en él a las actividades antropogénicas permitirá poner en práctica acciones que permitan la persistencia de condiciones adecuadas que permitan que el manejo forestal sea una actividad que pueda desarrollarse de una manera sustentable y a largo plazo.

V. OBJETIVOS

Objetivo General:

Evaluar la diversidad de la macrofauna edáfica en un bosque de Pino que presenta aprovechamiento forestal en la zona de Eloxochitlán, Zacatlán Puebla.

Objetivos específicos:

- Conocer los grupos de macroorganismos edáficos presentes en un bosque de Pino con aprovechamiento forestal.
- Determinar la diversidad alpha y beta de macrofauna edáfica presentes en cuatro áreas con distinto grado de disturbio.
- Conocer la fenología de los grupos de macroorganismos edáficos registrados.

VI. HIPÓTESIS

El manejo forestal en un bosque de pino en la sierra norte de Puebla, provoca cambios en la diversidad y composición de las comunidades presentes de macrofauna edáfica.

VII. MATERIAL Y MÉTODOS

7.1. Área de estudio

El presente estudio se realizó en un bosque de Pino con aprovechamiento forestal perteneciente al ejido Eloxochitlán, situado en el municipio de Zacatlán, Puebla (Figura 1). Las especies arbóreas más representativas del sitio corresponden a: *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Pinus teocote*, *Quercus* sp. y *Alnus* sp. Las coordenadas del área de estudio son: 19° 55' 58.6'' de latitud Norte y 97° 59' 38.4'' de longitud Oeste. Presenta una altitud de 2300 m.s.n.m. El área está ubicada a 7 kilómetros del centro de Zacatlán, sobre la carretera Zacatlán-Ahuazotepec, abarca aproximadamente 200 hectáreas, administradas por el ejido Eloxochitlán. Presentan un clima templado subhúmedo, con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 14.5 °C la cual varía entre 5°C y 23°C. La mayoría del uso del suelo en el ejido Eloxochitlán es forestal, y una pequeña porción se utiliza para zonas agrícolas de temporal y huertos de manzanos. Se presentan tres tipos de suelos, los andosoles, que son suelos derivados de cenizas volcánicas muy livianas y de alta capacidad para retener agua, las rendzinas que son suelos con una alta fertilidad y en el ejido Eloxochitlán son utilizados para actividades agrícolas en pequeñas parcelas con cultivos de raíces someras. Se presentan también cambisoles, los cuales son adecuados para actividades agropecuarias son suelos arcillosos y pesados no son aptos para la silvicultura. En el ejido hay una actividad económica de importancia, es el labrado de piedra obtenida a partir de canteras subterráneas pequeñas y hendidas por debajo del suelo (INAFED, 2010).

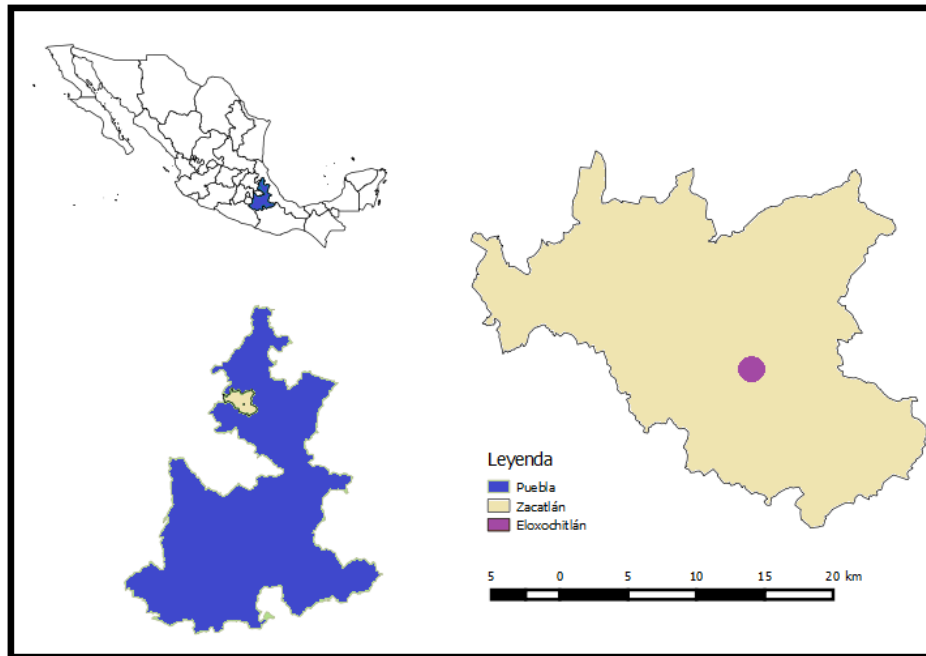


Figura 1. Ubicación del ejido Eloxochitlán.

7.2. Diseño de muestreo

Para el estudio se seleccionaron 4 sitios de muestreo con base en la antigüedad y dinámica del aprovechamiento forestal. Los sitios elegidos fueron los siguientes: Una zona de conservación (Figura 2a), la cual consiste en un bosque que permanece desde hace más de 20 años sin ningún tipo de disturbio o manejo forestal y se plantea que permanezca así. Es un sitio en el cual prevalecen las herbáceas y pastos, los pinos han alcanzado un crecimiento óptimo y tope, el suelo es muy liviano, de color obscuro negro y la distancia entre los pinos es de 7 a 10 metros. Una zona de bosque maduro (Figura 2b), esta consistió en un sitio en el cual el bosque tuvo aprovechamiento forestal hace 25 años, es una zona que presenta condiciones muy favorables para el crecimiento de herbáceas, los pinos son muy altos y con un grosor del tronco que demuestra arboles maduros, los pinos son muy

cercanos entre sí (a una distancia de 4 a 5 metros entre uno y otro), el suelo es muy liviano y de color negro oscuro. Una zona de bosque intermedio (Figura 2c) la cual corresponde a una zona en donde el aprovechamiento forestal se realizó hace aproximadamente 8 años, en este sitio los pinos aun no son maduros y no muy altos, la distancia que se encuentran uno de otro es de aproximadamente 2 metros, el suelo es de color marrón con consistencia dura, se presentan una gran cantidad de herbáceas. Una zona de aprovechamiento (Figura 2d) que es un sitio donde se realizó la corta y extracción de madera en el año 2015, es una zona libre de plantas leñosas (pino) y son muy abundantes las herbáceas y pastos.

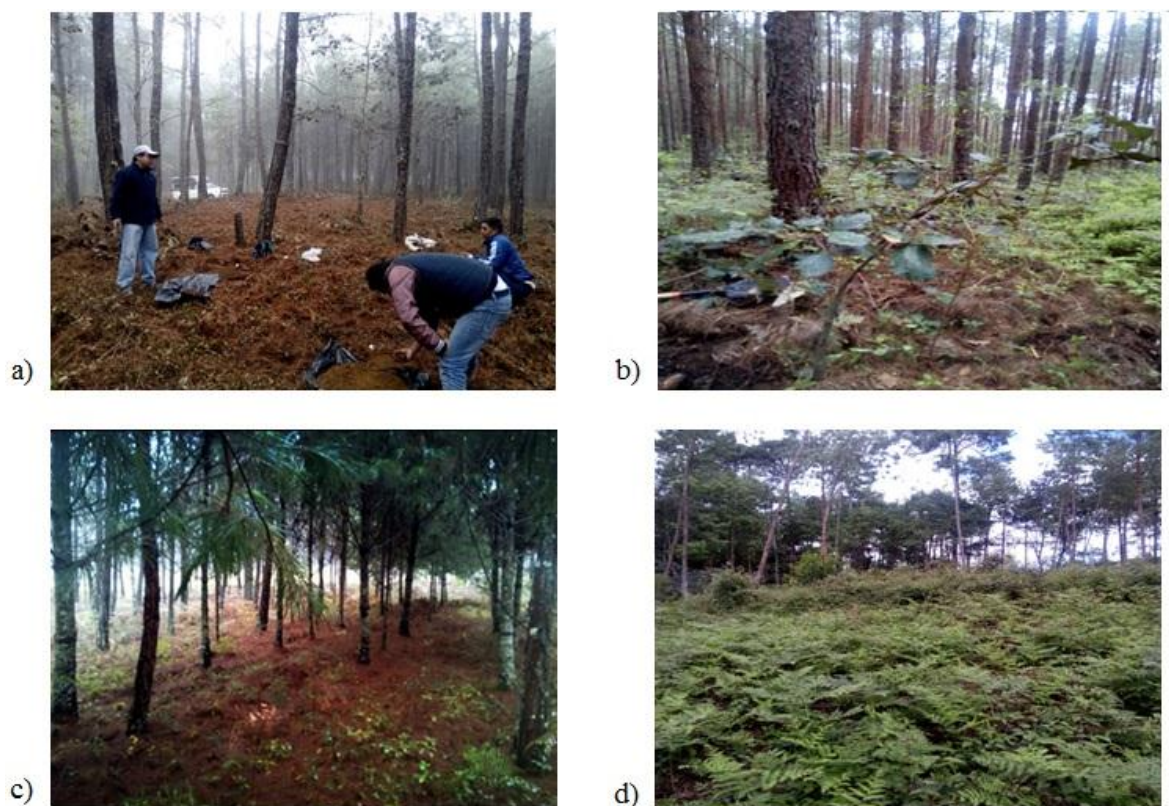


Figura 2. Ilustración de los sitios de muestreo. a) Zona de Conservación, b) Bosque Maduro, c) Bosque Intermedio, d) Zona de aprovechamiento.

En cada uno de estos sitios, una vez al mes de marzo del 2016 a Febrero del 2017, se extrajeron cinco monolitos de tierra utilizando el método TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility Programme) modificado. Las dimensiones de cada monolito correspondieron a: 30cm de largo por 30cm de ancho y 70 cm de profundidad. Los monolitos fueron extraídos utilizando la metodología conocida como cinco de oros. Para llevar a cabo esta metodología, dentro de cada uno de los cuatro sitios de muestreo se eligió al azar una ubicación para cavar un monolito central, y posteriormente a una distancia de 1 m de este monolito y tomando como referencia los cuatro puntos cardinales (Norte, Sur, Este y Oeste) se ubicaron los cuatro monolitos restantes. Una vez extraídos, los monolitos fueron colocados sobre bolsas de polietileno negro para revisarlos al momento de la extracción del suelo. Posteriormente se procedió a identificar y separar los artrópodos mayores a 2 mm (Figura 3). La macrofauna edáfica fue preservada en alcohol al 80%, con excepción de las larvas de coleópteros las cuales fueron separadas, de estas, el 30 % de la población colectada se sacrificó y fijó en solución pampel.

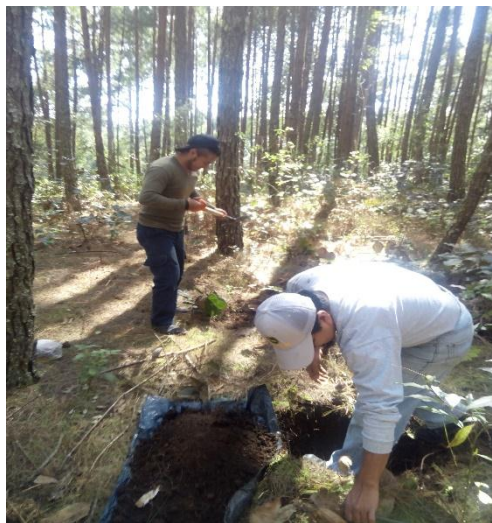


Figura 3. Muestreo de la macrofauna edáfica en el ejido Eloxochitlán, Puebla

Después de cuatro días se pasaron a alcohol al 70% (Morón & Terrón, 1988). El resto de la población se mantuvo viva, con la finalidad de obtener la relación larva-adulto y para verificar su identidad taxonómica. Las muestras de cada sitio y monolito fueron debidamente etiquetadas, sobre tarjetas de cartulina bristol blanca y letra legible, usando un lápiz mediano del número 2, con los datos presentados en la figura 4.

País:	Fecha o periodo de colecta:
Estado:	Método de colecta:
Distrito o municipio:	Altitud:
Localidad exacta:	Número del monolito:
Nombre del colector:	Tipo de vegetación:

Figura 4. Etiqueta depositada en los frascos, para la colecta en campo.

El material colectado y etiquetado se trasladó al laboratorio de entomología del Centro de Agroecología del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Las larvas que se conservaron vivas, se depositaron en recipientes de polietileno de 500 ml, con suelo obtenido del sitio de colecta, y se mantuvieron en una cámara de cría a temperatura de 26 ± 2 °C y humedad relativa de 70 ± 10 %, hasta la obtención de los adultos. Con apoyo de un microscopio estereoscópico, la macrofauna fue contada y ordenada en taxones desde clase hasta morfo especie. Ya preservado el material las larvas de coleópteros se determinaron con la ayuda de las claves de Ritcher (1966); Morón (1986)

y los adultos por Morón (2013). La identificación de los miriápodos se realizó con la clave modificada de Perrier (1923) y el género *Stenopelmatus* con la clave de Ball *et al.*, (1942).

7.3. Análisis estadístico

Para evaluar el esfuerzo de muestreo se construyó una curva de rarefacción basada en individuos, asimismo se empleó el estimador de riqueza no paramétrico Chao2 con 100 aleatorizaciones para comparar el número de especies encontradas en relación al número de especies predichas con el estimador (Marrugan, 2004). Para comparar la diversidad de las comunidades estudiadas se obtuvieron valores de diversidad verdadera (número efectivo de especies) a través de los números de Hill (Jost, 2006). Se analizó la diversidad alfa para cada comunidad utilizando la diversidad de Shannon (1D) esta índice representa una estimación de la diversidad específica que no favorece a las especies dominantes, de igual manera no se ve afectada por la abundancia que presentan los individuos asignados a una clase (especie). Para evaluar la dominancia dentro de las comunidades se ocupó el índice de Simpson (2D), se eligió esta medida ya que le da más peso a las especies más comunes (dominantes) de los sitios de muestreo y presentan una marcada abundancia proporcional. Para examinar la similitud en la composición de especies entre las comunidades se realizó un análisis de diversidad beta. Este análisis se realizó a través del índice de Sorensen modificado por Chao, este índice se seleccionó ya que tiene la ventaja de reducir el sesgo (oblicuidad) por muestreo, al estimar y resarcir las especies compartidas no registradas, toma un valor de 0 cuando las comunidades son completamente disímiles y de 1 cuando se comparten todas las especies (similares) (Chao *et al.*, 2005). De igual forma, para ilustrar la disimilitud en la composición de las comunidades, se elaboró un análisis de escalamiento

multidimensional no métrico (NMDS), por su abreviatura en inglés, utilizando la distancia Bray–Curtis para cuantificar la disimilitud composicional entre dos sitios diferentes, esta prueba fue elegida dado que presenta la ventaja de que al estar basada en rangos de distancias, tiende a linealizar la relación entre las distancias ambientales y las distancias biológicas (esto es, calculadas a partir de una matriz de sitios x especies), asimismo, permite reducir la dimensionalidad de los datos originales. El estimador Chao2 y el índice de Sorensen modificado por Chao se obtuvieron con el software Estimates 9.1.0 (Colwell, 2013). Los índices de Shannon y Simpson fueron generados a partir del programa R utilizando el paquete iNEXT (Chao *et al.*, 2014). El análisis de NMDS fue realizado en el programa PAST 3.15 (Hammer *et al.*, 2001).

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Riqueza de especies

Se colectaron en total 444 organismos que correspondieron a 21 especies de los cuales 14 pertenecieron al orden coleóptera, estos incluyeron a los géneros *Phyllophaga*, *Diplotaxis*, *Odontotaenius*, *Conoderus*, *Glyptotus*, *Centronopus*, *Agriote* y *Macroductylus*, de estos cuatro especies fueron representadas por adultos que se obtuvieron del suelo, estos fueron *Odontotaenius zodiacus* (Truqui, 1857), *Phyllophaga blanchardi* (Arrow, 1933), *Diplotaxis* Aff *tumida* Vaurie, 1960 y *Diplotaxis simplex* (Blanchard, 1950). Además la morfo-especie *Stenopelmatus* Sp1 (Haldeman, 1852) que corresponde al orden orthoptera y 6 morfoespecies para el subfilo Myriapoda que incorpora al género *Geophilus* (Leach, 1814), los Ordenes Spirobolida (Bollman, 1893) Glomeris (Brandt, 1833) y la clase Symphyla (Leach, 1814) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Especies encontradas en el área de estudio y las abundancias que presentaron en las cuatro zonas del muestreo. (*ZC Zona de conservación, *BM Bosque maduro, *BI Bosque intermedio, *ZA Zona de aprovechamiento).

Especie (morfo-especie)	ZC	BM	BI	ZA	Total
<i>Phyllophaga</i> Sp1	3	11	2	5	21
<i>Phyllophaga</i> Sp2	0	1	1	1	3
<i>Phyllophaga</i> Sp3	0	0	0	1	1
<i>Diplotaxis</i> Sp	3	5	1	0	9
<i>Diplotaxis simplex</i>	1	2	0	0	3
<i>Diplotaxis</i> sp. Aff <i>tumida</i>	0	2	0	0	2
<i>Odontotaenius zodiacus</i>	1	0	0	0	1
<i>Phyllophaga blanchardi</i>	0	0	0	2	2
<i>Conoderus exsul</i>	4	2	1	2	9
<i>Glyptotus</i> Sp	1	0	1	3	5
<i>Centronopus</i> Sp	0	4	0	0	4
<i>Agriote</i> Sp1	1	0	0	1	2

<i>Agriote</i> Sp2	0	0	1	0	1
<i>Stenopelmatus</i> Sp	0	1	1	5	7
<i>Macroductylus</i> Sp	0	0	0	2	2
<i>Geophilus</i> Sp1	39	47	21	29	136
<i>Geophilus</i> Sp2	1	2	0	0	3
<i>Geophilus</i> Sp3	1	3	0	0	4
<i>Glomeris</i> Sp	9	24	9	11	53
<i>Symphyla</i> Sp	10	23	11	17	61
<i>Spirobolida</i> Sp	35	48	7	27	117

El sitio con mayor abundancia fue el bosque maduro (BM) con 175 organismos colectados, seguido del área de conservación (ZC) con 109 registros, sucesivamente la zona de aprovechamiento (ZA) con 106 individuos y por último el bosque intermedio (BI) con tan solo 56. De acuerdo al esfuerzo de muestreo y porcentaje de cobertura en la muestra, la completitud en las cuatro zonas cumplió con más del 85% en el muestreo (Cuadro 2). De las cuatro zonas, el bosque maduro, presentó la mayor riqueza de especies con un total de 14 especies, la zona de conservación y zona de aprovechamiento presentaron una riqueza similar entre sí con 13 especies y el bosque intermedio fue el que registró la menor riqueza con tan solo 11 especies (Cuadro 3).

Cuadro 2. Se muestra el número de especies observadas y el porcentaje de cobertura estimado de la muestra.

Sitio	No. de organismos	No. de especies	Porcentaje de cobertura de la muestra
Área de Conservación	109	13	94%
Bosque maduro	175	14	98%
Bosque intermedio	56	11	89%
Zona de aprovecha.	106	13	97%

Una apreciación visual de las curvas de rarefacción de especies (Figura 5) para cada uno de los sitios evaluados en el área de estudio, refuerza lo indicado en el cuadro 3 respecto a que las cuatro zonas alcanzaron el más del 85% de cobertura de la muestra en relación al esfuerzo de muestreo que se empleó para las cuatro zonas.

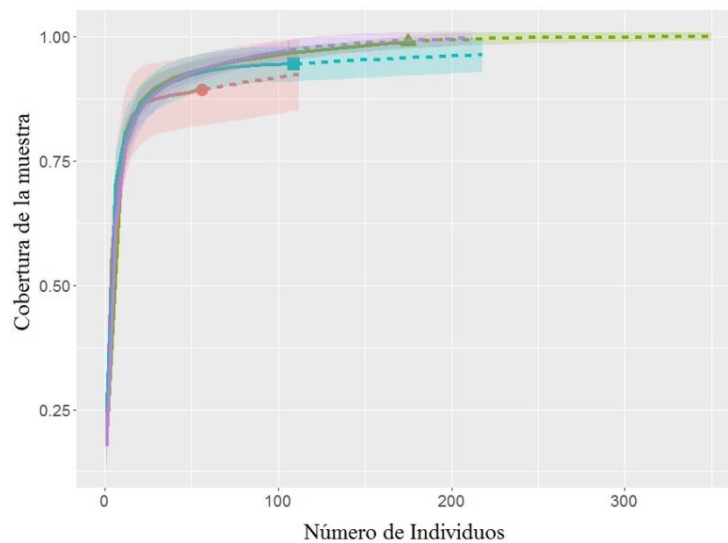


Figura 5. Curva de rarefacción basada en los individuos para cada uno de los sitios evaluados. La línea azul corresponde a la zona de conservación, la línea verde al bosque maduro, la línea roja al bosque intermedio y la línea morada a la zona de aprovechamiento. Las partes sombreadas indican los intervalos de confianza al 95%.

Las larvas de coleópteros que componen a la fauna edáfica de los suelos del bosque, son mejor conocidas como “gallinas ciegas”, y se caracterizan por presentar la lacinia maxilar y galea completa o parcialmente fusionadas entre sus bases, los palpos maxilares presentan cuatro artejos, el último de ellos muy conspicuo con áreas sensoriales muy amplias y los

tres pares de patas muy desarrolladas a excepción de la familia Curculionidae (Latreille, 1802). Para este grupo las larvas son ápteras, con espiráculos y estigmas respiratorios torácicos y abdominales a lo largo del cuerpo, éstas patas cuentan con cuatro segmentos muy bien diferenciados y tarsungulus (uñas) (Tapia-Rojas, 2005). En la parte final abdominal, encontramos la abertura anal (Figura 1b) además del palis y palidia. El adulto encontrado *Odontotaenius zodiacus* (Truqui, 1857) (Figura 5f), presenta algunas particularidades, un diente central, el surco medio y subsecuentemente a éste el surco marginal, mesepisterno fusionado a un húmero, un pedículo elitral, con su quilla longitudinal de la tibia anterior, el tubérculo ocular encontrado en la parte apical de la capsula cefálica y características más comunes presentes en otros grupos de escarabajos, como el clípeo, un labro encontrado en la mandíbula y un mesoepimero oculto (Reyes-Castillo & Amat-García, 2003). También se pueden encontrar una gran diversidad de otros artrópodos que son fundamentales en numerosas funciones clave en las redes tróficas. Para el caso de las larvas y adultos de coleópteros, ocupan el nivel trófico de consumidores primarios y secundarios, tanto generalistas como especialistas (Morón y Terrón, 1988).

Otro de los grupos importantes en los suelos del bosque es el subfilo Myriapoda (Figura 5c) la clase Chilopoda del orden Geophilomorpha, son el grupo más representativo en la superficie del suelo en el área de estudio, estos organismos del suelo son degradadores de materia orgánica en descomposición, son organismos terrestres, que subsisten en el suelo, estos organismos son detritívoros, su desplazamiento es sosegado, una de sus principales funciones es convertir la materia orgánica en humus. Junto con las lombrices de tierra son los principales individuos en la formación de suelo, las principales particularidades de estos organismos consiste en que cuando se sienten amenazados, pueden envolverse en una bola

esférica perfecta Brusca *et al.*, (2016). Escasas especies presentan toxinas tóxicas y volátiles para su protección, hay algunas que pueden segregar el elemento cianuro, que podría resultar en heridas o ampollas en la piel humana Brusca *et al.*, (2016). Su exoesqueleto está muy bien esclerotizado, El bauplan está constituido por las mandíbulas con enditos articulados, maxilas libres o el gnatoquilario (maxilas fusionadas), sus apéndices en la parte de la testa y el tronco son unirrameos, sin ojos compuestos con un exoesqueleto muy bien desarrollado en la capa cérica Brusca *et al.*, (2016). La morfología especie encontrada de *Stenopelmatus* (Haldeman, 1852) (Figura 5d), es una especie que presenta un bauplan constituido por tres tagmas, cabeza, tórax y abdomen, con tres pares de patas, cada una conformada por una coxa, fémur, tibia, tarso y uña. En la cabeza con un par de ojos compuestos y ocelos. Un par de antenas incrustadas en la cabeza, también se encuentra un clípeo, labro y mandíbulas, con palpos labiales y maxilares. Estos organismos son de vida libre, algunos grupos cercanos al género *Stenopelmatus*, son de importancia económica en nuestro país, pueden volverse plagas del maíz, del frijol y otros cultivos (Rivera, 2000). Estos organismos tienen un factor edáfico muy importante, ya que sus funciones en el suelo son de vital importancia para la descomposición de materia orgánica, ya que en las cuatro zonas son extremadamente ricas en suelo fértil, aunando a la zona de aprovechamiento, incluyendo su deforestación.

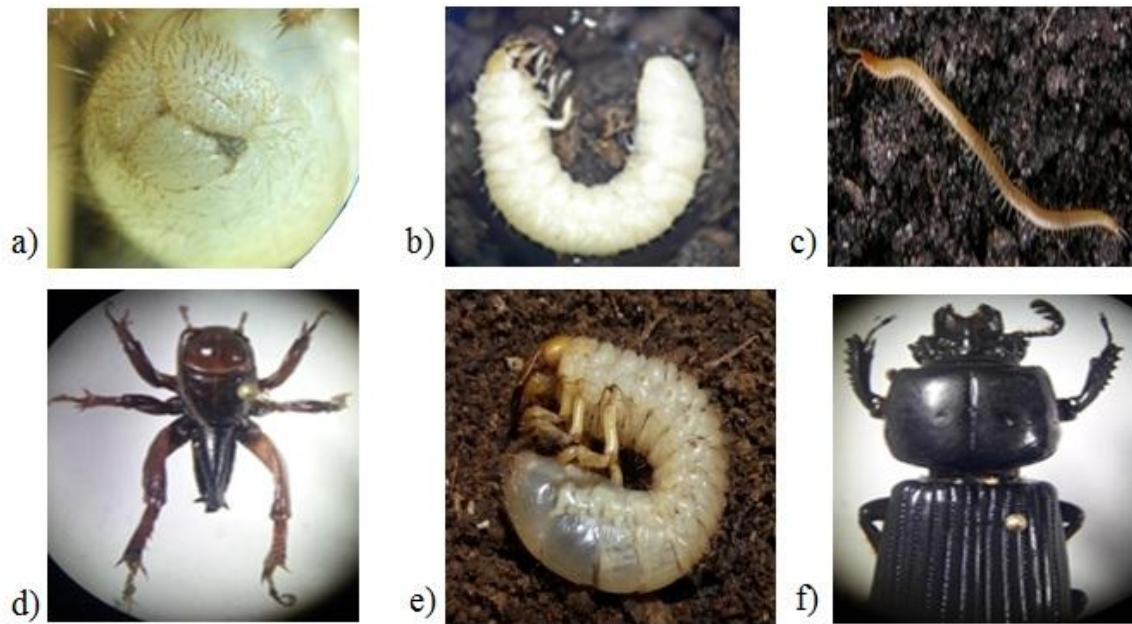


Figura 6. Ejemplares de la macrofauna colectados en el ejido Eloxochitlán. a) Abertura anal de *Phyllophaga* Sp 1 b) *Diplotaxis* Sp1 c) *Geophilis* Sp1. d) *Stenopelmatus* Sp1. e) *Phyllophaga* Sp2. f) Cápsula cefálica de *Odontotaenius zodiacus*

8.2 Fenología de la macrofauna edáfica en el área de estudio.

La evaluación de la temporalidad en las cuatro zonas a lo largo del periodo de muestreo registró que la mayor abundancia de organismos se presentó en el bosque maduro en el mes de diciembre (Figura 7 b), siendo los meses de enero y abril los que tuvieron el menor número de ejemplares. El bosque intermedio (Figura 7 c) reportó la abundancia más baja de las cuatro zonas evaluadas, en este sitio la mayor cantidad de ejemplares se colectó en Julio. La zona de conservación (Figura 7 a) presento una mayor cantidad de organismos colectados en el mes de abril y Mayo, mientras que en agosto se colectaron menos organismos. La zona de aprovechamiento (Figura 7 d) registró una importante porción de macrofauna edáfica en el mes de Julio, subsecuente los meses de Diciembre, Febrero y

Marzo, mientras que los meses con el mínimo de colecta se encaminaron al periodo de agosto, octubre, enero y abril.

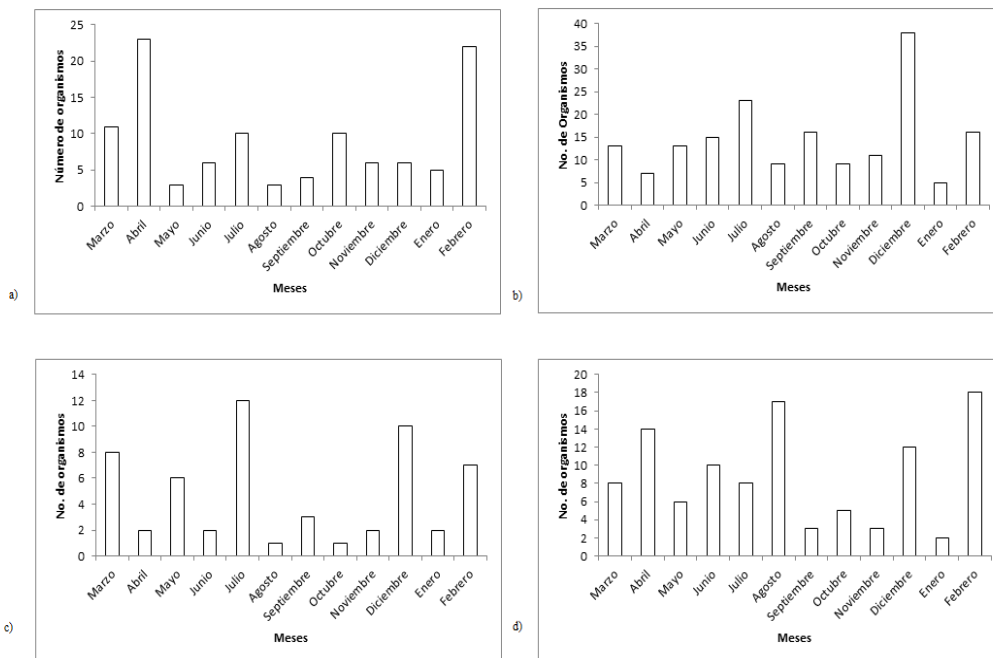


Figura 7. Número de individuos colectados en los 12 meses de muestreo en: a) Zona de conservación. b) Bosque maduro. c) Bosque intermedio. d) Zona de aprovechamiento.

Respecto a la dinámica de toda el área (Figura 8), se observó que el mes de diciembre y febrero se colectó el mayor número de macrofauna en el suelo, siguiendo los meses de abril y julio con una abundancia considerable y los meses donde se colectó el menor número de ejemplares fueron los meses de septiembre, noviembre y enero.

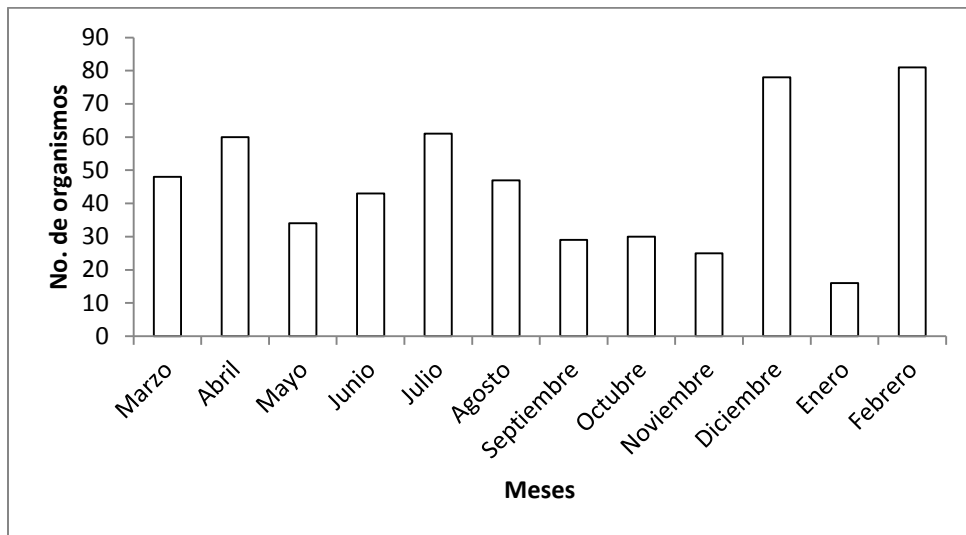


Figura 8. Dinámica total de poblaciones de la macrofauna edáfica en los meses de muestreo, encontrados en las cuatro zonas de colecta en la localidad del Eloxochitlán, Zacatlán Puebla.

8.3 Diversidad de especies

Se registraron valores de diversidad alfa muy similares entre los sitios muestreados, el valor mínimo fue registrado en el área de conservación, mientras que la zona de aprovechamiento fue el sitio que presentó el valor más alto (Cuadro 3 y Figura 9). El mismo patrón se registró para la dominancia, evaluada a través del índice de Simpson, el sitio que presentó mayor dominancia fue la zona de aprovechamiento, mientras que en la zona de conservación se obtuvo el valor más bajo (Cuadro 3 y Figura 9).

Cuadro 3. Valores de diversidad y de dominancia obtenidos para cada uno de los sitios evaluados

Sitio	Índice de Shannon (q ¹) observado	Índice de Shannon (q ¹) esperado	Índice de Simpson (q ²) observado	Índice de Simpson (q ²) esperado
Área de conservación	5.66	6.37	4.0	4.11
Bosque maduro	6.97	7.27	5.27	5.40
Bosque intermedio	5.99	7.49	4.46	4.76
Zona de aprovechamiento	7.22	7.75	5.47	5.71

Los sitios evaluados no fueron significativamente distintos en cuanto a los valores de diversidad y dominancia obtenidos, como lo muestra la figura 9.

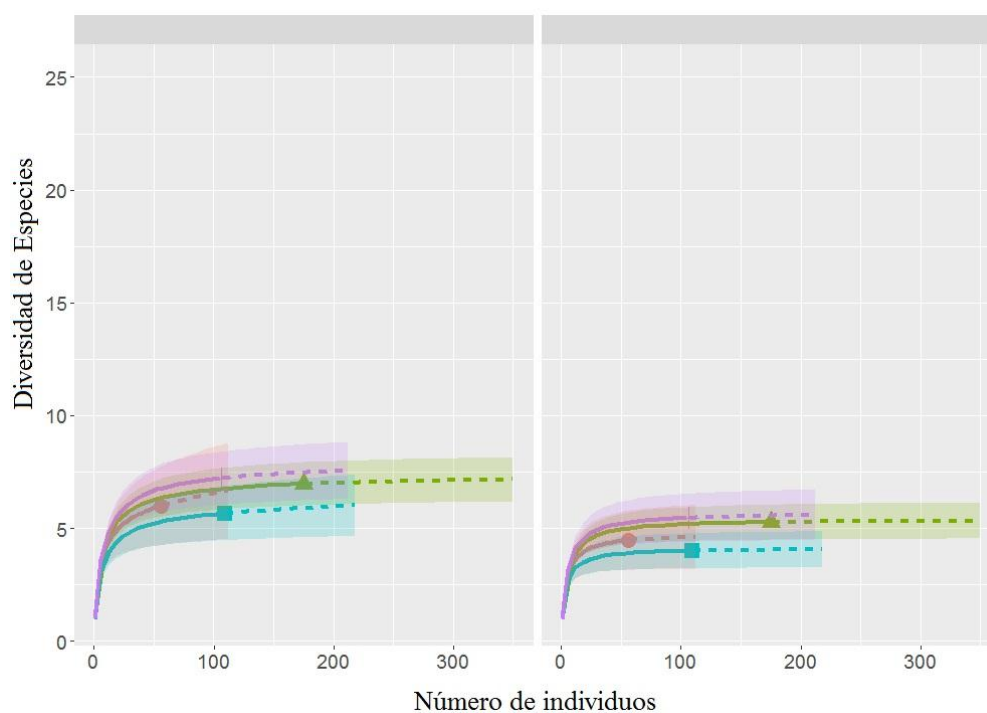


Figura 9. Valores del índice de Shannon (izquierda) y simpson (derecha) para cada uno de los sitios evaluados. La línea azul corresponde a la zona de conservación, la línea verde al

bosque maduro, la línea roja al bosque intermedio y la línea morada a la zona de aprovechamiento. Las partes sombreadas indican los intervalos de confianza al 95%.

De acuerdo al índice de Shannon no hay diferencias significativas de la diversidad de especies en los cuatro sitios de estudio del ejido, esto puede deberse a la poca variación en el número de especies, ya que el bosque intermedio fue el sitio que presentó un menor número de especies en relación con los tres sitios restantes, mientras que el bosque maduro (BM) es el sitio que presentó un menor disturbio y mayor número de especies. Una de las razones por las cuales no se encontró una diferencia significativa en la diversidad alfa entre las cuatro zonas evaluadas, hace referencia a que probablemente las propiedades de la perturbación permiten que se presente una sustitución dinámica de especies entre los sitios. Dicho de otra forma, las especies que se disipan por consecuencia del manejo forestal son reemplazadas por especies que pueden adaptarse a condiciones de disturbio, manteniéndose por recursos y espacios determinados. De esta manera obtienen niveles semejantes de diversidad a nivel local.

El análisis de diversidad beta indicó que los sitios que comparten un menor número de especies son el BM y la ZA, sitios que obtuvieron un valor de 0.41. Estos dos sitios son disímiles en el área de estudio. Lo anterior puede ser provocado por las características presentes en cada sitio, el bosque maduro (BM) es la zona de menor perturbación (no a sufrido manejo a lo largo de 25 años), su estrato arbóreo presenta una composición de la cobertura vegetal marcadamente distinta a la zona de aprovechamiento (ZA), la cual es una zona muy perturbada por la corta realizada en el año del 2015 con un incremento en el estrato herbáceo y ausencia de pinos maduros. La comparación entre los demás pares de

sitios indica niveles intermedios de similitud, con valores alrededor de 0.5 y 0.6 (Cuadro 4). Lo anterior fue corroborado por el NMDS (Fig. 10) ya que la figura generada muestra un ordenamiento espacial en el que la zona de aprovechamiento presenta una composición distinta con respecto al bosque maduro (BM), así como con la zona de conservación (ZC).

Cuadro 4. Valores de diversidad beta para cada par de sitios evaluados. Debajo de la diagonal sombreada se muestra el valor del índice de Jaccard modificado por Chao, mientras que por arriba se muestra el número de especies compartidas.

	Zona de Conservación	Bosque maduro	Bosque intermedio	Zona de aprovecha.
Zona de conservación		10	8	8
Bosque maduro	0.58		9	8
Bosque intermedio	0.5	0.56		9
Zona de aprovecha.	0.44	0.41	0.6	

La comparación entre las dos zonas con disturbio reciente, el bosque intermedio (BI) y la zona de aprovechamiento (ZA), arrojó que estos sitios presentan una mayor similitud con un valor alrededor de 0.6 (Cuadro 4). El ordenamiento a través del NMDS lo ratifica (Fig. 10), la zona de aprovechamiento (ZA) y el bosque intermedio (BI) muestran una mayor cercanía entre sí lo cual se comprende como sitios que presentan similitud en cuanto a su composición.

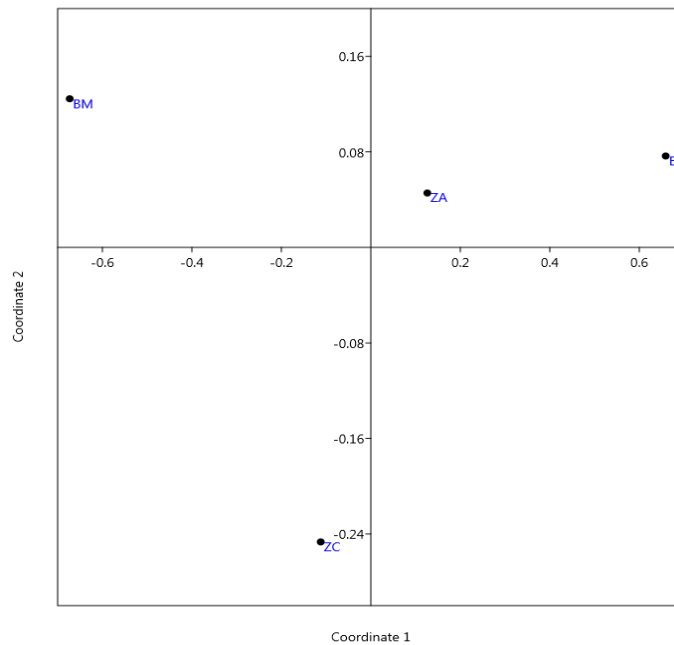


Figura 10. Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) entre las comunidades estudiadas. Stress < 0.05

Las diferencias reportadas en la composición de la comunidad de larvas del BM y la ZA se pueden explicar debido a que hay 3 especies más registradas en el bosque maduro (BM) y que no fueron observadas en la zona de aprovechamiento (ZA). Esto puede señalar que estas especies pueden ser menos tolerantes a la perturbación, y que las especies que se reportaron en la zona de aprovechamiento (ZA) se puedan catalogar como especies asociadas a sitios con disturbio reciente. Aunado a esto los datos indican que la fauna edáfica de estos tres grupos (Coleóptera, Myriapoda, Orthoptera) referidas en los cuatro sitios evaluados coinciden con lo que reporta García de Jesús *et al.*, (2016) en bosques de pino bajo manejo antropogénico. Los resultados presentados para el área de estudio indican disimilitudes importantes en la abundancia de las especies en las cuatro zonas muestreadas, lo que puede señalar que el aprovechamiento forestal puede estar desempeñando un efecto

entre la proporción de recursos que están disponibles en cada una de las zonas, aunado al espacio y la temporalidad en la que se realizó el estudio. Según Tapia-Rojas (2005), en su evaluación el mayor número de individuos fue registrado en ambientes con una cobertura herbácea considerable, para el ejido del Eloxochitlán los sitios de Bosque maduro (BM) y Zona de conservación (ZC) presentan una cobertura herbácea considerablemente menor que la zona de aprovechamiento, lo cual puede señalar que para estas zonas es importante evaluar en posteriores trabajos aspectos, como el tipo de suelo o la humedad, estos factores podrían señalar con mayor peso la presencia o ausencia de los organismos colectados en este estudio. Algo muy importante en este estudio es la textura del suelo, el cual podría ser un elemento esencial, ya que la composición del suelo en el bosque maduro (BM) y zona de conservación (ZC) son muy similares, contrario a lo que encontramos en el bosque intermedio (BI), con pinos muy cercanos unos de otros y un suelo con alta dureza. Aunado a lo anterior Tapia-Rojas (2005), sólo evaluó la respuesta en la familia Melolonthidae, mientras que en este trabajo se incluyó a tres grupos de artrópodos de la fauna edáfica, Coleoptera (incluyendo a otros grupos aparte de los Melolonthidae), Orthoptera y Myriapoda.

El hecho de no encontrar una diferencia significativa en la diversidad alfa entre los ambientes evaluados sugiere que probablemente las condiciones de la perturbación antropogénica, permitan que pueda existir una suplencia dinámica de especies entre las cuatro zonas. Es decir que las especies que se pierden por consecuencia del aprovechamiento forestal son reemplazadas por especies que pueden adaptarse a condiciones de disturbio y así mantener niveles equiparables de diversidad a nivel local. Los cambios importantes en la composición de especies de artrópodos en sitios con

disturbio contrastante, similar a lo que se realizó en este estudio, han sido registrados para áreas con aprovechamiento forestal en ambientes tropicales (Willott, 1999; Vasconcelos *et al.*, 2000; Willott *et al.*, 2000; Widodo *et al.*, 2004), en los cuales el aprovechamiento forestal promovió la aparición y el incremento en la abundancia de especies asociadas con hábitats abiertos. Según Hernández *et al.*, 2013 existen varios factores en los que evaluaron el efecto de las prácticas silvícolas en un bosque templado del noroeste de México por un periodo de 10 años, y muestran que el manejo antropogénico modifica en gran cantidad la diversidad y estrato arbóreo del bosque, lo cual puede traducirse en un cambio significativo en la cantidad de recurso (materia orgánica) disponible para los artrópodos del suelo repercutiendo de manera importante en su riqueza y abundancia.

Con relación a la hipótesis propuesta y con los datos alcanzados en este trabajo, podemos mencionar que la composición de comunidades de los tres grupos encontrados para las cuatro zonas en el ejido Eloxochitlán, presentan bastantes diferencias sobre todo entre las presentadas en el bosque maduro (BM) y el bosque intermedio (BI), la diversidad y abundancia es contrastante, por lo que se pueden considerar sitios distintos dentro del área de estudio. En relación a los organismos colectados de las cuatro zonas, es importante realizar una evaluación taxonómica más profunda, para entender si las especies representadas pertenecen a especies generalistas o específicas, su fenología, su distribución geográfica, ecológica y su impacto en el funcionamiento de los ecosistemas. Por último es necesario mencionar que para evaluar el impacto del manejo y aprovechamiento del bosque, es preferible ejecutar un proyecto de monitoreo a largo plazo, de esta manera podremos constatar los cambios que ocurren en los suelos, producto de la alteración de la flora y fauna presente.

Con base en lo anterior podemos concluir que la diversidad de especies a nivel local (diversidad alfa), no se ve afectada por el manejo del bosque. Asimismo, la dominancia de las comunidades es similar en los cuatro sitios evaluados. Sin embargo, la composición de las comunidades presenta cambios importantes en las áreas estudiadas. Este cambio en la estructura de las comunidades de macrofauna edáfica resalta la importancia de mantener áreas en las cuales se suspenda el manejo del bosque para poder mantener poblaciones viables de especies que presenten sensibilidad a la perturbación, y de esta manera evitar que la diversidad regional disminuya al grado de generar áreas extensas dominadas por especies generalistas y con niveles bajos de diversidad de macrofauna del suelo.

IX. CONCLUSIONES

La diversidad de macrofauna edáfica el bosque de Pino del ejido Eloxochitlán, en el municipio de Zacatlán de las manzanas, Puebla es mayor en el sitio con menor perturbación (Bosque maduro).

La diversidad local de especies de macrofauna edáfica (diversidad alfa) y la dominancia no presentan variaciones significativas en los cuatro sitios estudiados. De manera contrastante, la composición de las comunidades si presenta una marcada variabilidad entre las áreas evaluadas.

Existe una mayor abundancia de macrofauna edáfica en el ejido Eloxochitlán en los meses de Diciembre a Abril.

Las áreas sin manejo forestal pueden estar alojando a poblaciones fuente que permitan la persistencia de las especies que potencialmente pueden ser menos tolerantes a la perturbación.

X. RECOMENDACIONES

Se recomienda efectuar más trabajos de identificación taxonómica para los grupos encontrados en este bosque de pino sobre todo en estados inmaduros (Coleóptera) y adultos Myriapoda, compararlos con ecosistemas similares que permitan comprender la diferencia y cambios de la fauna edáfica forestal (fenología), en correlación con los cambios de otras variables como el ph, tipo de suelo etc.

Es importante trabajar de la mano con varias disciplinas profesionales en campo y hacer un círculo multidisciplinario, para tratar al bosque de manera sustentable y sostenible por un largo tiempo, para la comunidad y para la persistencia del bosque.

Es necesario hacer más estudios en ecosistemas templados (Bosques de pino) bajo manejo antropogénico para generar medidas de manejo cuyos impactos no produzcan cambios profundos en la diversidad de especies y se promueva el aprovechamiento sustentable de estos ecosistemas.

XI. Literatura citada

- Arroyo, J., & Iturrondobeitia, J. 2006. Differences in the diversity of oribatid mite communities in forests and agrosystems lands. *Journal Soil. Biol* 42: 259- 269
- Ball E. D., Tinkham E. R., Flock R. y Vorhies, C.T.1942. The grasshoppers and other Orthoptera of Arizona. *University of Arizona Agricultural Experiment Station Technical Bulletin* No. 93: 255-373
- Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J., 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, volumen especial*(s.n), 79-110
- Brusca, R., Moore, W., Shuster, S. 2016. *Invertebrates*. Sinauer Associates, Inc., Editores., Greenfield, MA, EU, 1100 pp.
- Canter L. W. (1998). Manual de evaluación de impacto ambiental. *McGraw-Hill*, Santafé de Bogota, 841pp.
- Carter, J., J. Heinonen y J. De Vries. 1982. Earthworms and water movement. *Pedobiologia* 23:395-397.
- Chao, A., Chazdon, R. L., Colwell, R. K., y Shen, T. J. 2005. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecology letters*, 8: 148-159.
- Chao, A., Gotelli, N.J., Hsieh, T.C., Sander, E.L., Ma, K.H., Colwell, R.K. y Ellison, A.M. (2014) Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84: 45–67.
- Coleman, D.C., Crossley, D.A y Hendrix, P.F. (2004) *Fundamentals of Soil Ecology*. Second Edition. Elsevier Academic Press. San Diego. 386 pp.
- Colwell, R. K. 2013. Estimates (versión 9.1.0) [Software de cómputo]. Connecticut, USA: Statistical estimation of species richness and shared species from Samples

- Cutz, Q.(2008). Primeros registros sobre colémbolos de composta en México. *Entomologia*, 808-812
- De la Rosa, I., 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. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(1), 201-205
- García de Jesús, S., Moreno, C. E. y M. A. Morón. 2016. Densidad y biomasa de larvas de escarabajos Dynastinae (Coleoptera: Melolonthidae) en un bosque templado con manejo forestal en México. *Entomología mexicana*, 3: 618–625.
- García, M.R. & C. Chamorro. 1990. Algunos Aspectos de la Ecología del bosque alto andino. *IGAC, Investigaciones* 2: 35-41
- Giller, K.E., Beare, M.H., Lavelle, P., Izac, A-MN., Swift, M.J. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Appl Soil Ecol* 6: 3-16
- Halfpeter, G. (2005). Towards a culture of biodiversity conservation. *Acta Zoológica Mexicana* (s.n.), 21(2): 133-153
- Hammer, O., Harper, D. A. T. y Ryan, P. D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 9.
- Hernández J., Aguirre O., Alanís E., Jiménez J., Treviño E., González M., Lujan C., Olivas J., Domínguez L. A. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Revista Chapingo serie de ciencias forestales y del ambiente*. 189-199 pp
- Hernández A., Hernández P. y Gordillo A. (2006) Manual para la evaluación de impactos ambientales. INNOCIVE Ediciones, Madrid, 749pp.

- Inafed, (2010). SEGOB. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Recuperado: <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21208a.html>
- Johns, A. 1985. Tala selectiva y conservación de la vida silvestre en el bosque tropical lluvioso: problemas y recomendaciones. *Biological conservation*, 37: 355-375
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, 113: 363-375.
- Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Spain, A.V., Toutain, F., Barois, I., Schaefer, R. 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotropica* 25(2): 130- 150
- Lavelle, P. 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biol Int* 33: 3- 16
- León, A., Ramos, C., y García, M. (2010). Efecto de plantaciones de pino en la artropofauna del suelo de un bosque Altoandino. *Bio trop*, 59(3), 1031-1048
- Llorente, J., Morrone, J., Yáñez, O., y Vargas, I. (2004). Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México, D.F.
- Magurran A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing, Oxford. 264 pp.
- Momo, F. R., Giovanetti, C. M y Malacalza, L. (1993). Relación entre la abundancia de distintas especies de lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) y algunos parámetros fisicoquímicos en un suelo típico de la estepa pampeana. *Ecol. Austral*, 3:7-14
- Moreno, C. E. & G. Halfpeter 2001. On the measure of sampling effort used in species accumulation curves. *J. Appl. Ecol.*, 38: 487-490.
- Morón, M. A. y R. Terrón.1988. *Entomología Práctica*. Instituto de Ecología, A.C., México, 504 pp.
- Perrier, R. 1923. *La Fauna de France III: Myriapodes*. Delagrave. Paris. 158 pp.

- Percino-Figueroa, S. M y Morón, M. A. 2013. Región Zacatlán Pp. 189-206. En: Morón, Aragón-García y Carrillo-Ruiz (eds). *Fauna de escarabajos del Estado de Puebla*. Escarabajos Mesoamericanos A.C. Veracruz, México.
- Petersen, H., Luxton, M. 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos* 39(3): 287- 388
- Reyes-Castillo, P., & Amat-García, G. 2003. PASSALIDAE (COLEOPTERA) DE COLOMBIA. *Sociedad Entomologica Aragonesa* 3: 35-50
- Ritcher, P. O. 1966. White grubs and their allies. *A study of North American Scarabaeoid larvae*. *Studies in Entomology No.4*. Oregon State University Press, Corvallis. 219 pp
- Rivera E. (2000). Aspectos taxonómicos, biológicos y ecológicos de la plaga del chapulín en el Estado de Durango. In Simposio de Control de Plaga de Chapulín en Durango. Durango, Durango, México. 120pp.
- Rueda, D., y Varela, A.(2016). Distribución espacial, composición y densidad de edafofauna en hojarasca de bosque y cafetal (Montenegro, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 21(2), 399-412
- Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. Ed. Limusa. México, D.F., México. 432 pp.
- Tapia-Rojas, A.M. 2005. *Estudio de larvas de coleópteros melolóntidos edafícolas en ambientes forestales de Puebla: Su posible uso como bioindicadores*. Tesis Profesional Maestría en Ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 63 pp.
- Torres, P.F. 2015. Orden Blattodea. *Sociedad Entomológica Aragonesa*, 48: 1-13

- Vasconcelos, H. L., Vilhena, J. M. S. and G. J. A. Caliri. 2000 Responses of ants to selective logging of a central Amazonia forest. *Journal of Applied Ecology*, 37: 508–514.
- Widodo, E. S., Naito, T. Mohamed, M. and Y. Hashimoto. 2004. Effects of selective logging on the arboreal ants of a Bornean rainforest. *Entomological Science*, 7: 341–349.
- Willott, S. J. 1999. The effects of selective logging on the distribution of moths in a Bornean rainforest. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 354: 1783–1790.
- Willott, S. J., Lim, D. C. Compton, S. G. and S. L. Sutton. 2000. Effects of selective logging on the butterflies of a Bornean rainforest. *Conservation Biology*, 14: 1055–1065.