



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MACROFAUNA
EDÁFICA EN EL BOSQUE DE *ABIES RELIGIOSA* EN LA EN
LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA, D.F., MÉXICO.**

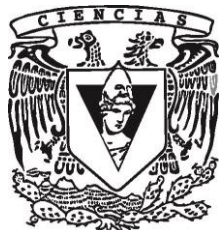
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

MARTÍNEZ RODRÍGUEZ AGAPCEL FELIPE



**DIRECTOR DE TESIS:
Dra. MARÍA GUADALUPE BARAJAS GUZMÁN
2015**

Ciudad Universitaria, D. F.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de Datos del Jurado

| | |
|--|--|
| 1. Datos del alumno Apellido paterno Apellido materno Nombres Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Carrera Número de cuenta | 1. Datos del alumno Martínez Rodríguez Agapcel Felipe Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Biología 304262076 |
| 2. Datos del tutor Grado Nombres Apellido paterno Apellido materno | 2. Datos del tutor Dra. María Guadalupe Barajas Guzmán |
| 3. Datos del sinodal 1 Grado Nombres Apellido paterno Apellido materno | 3. Datos del sinodal 1 Dra. Edna Naranjo García |
| 4. Datos del sinodal 2 Grado Nombres Apellido paterno Apellido materno | 4. Datos del sinodal 2 Dra. Blanca Estela Mejía Recamier |
| 5. Datos dl sinodal 3 Grado Nombres Apellido paterno Apellido materno | 5. Datos dl sinodal 3 M. en C. María Cristina Mayorga Martínez |
| 6. Datos del sinodal 4 Grado Nombres Apellido paterno Apellido materno | 6. Datos del sinodal 4 M. en C. Francisco José Medina Soriano |
| 7. Datos del trabajo escrito Título | 7. Datos del trabajo escrito Variación espacio-temporal de la macrofauna edáfica en el bosque de <i>Abies Religiosa</i> en la cuenca del río Magdalena, D.F., México. |
| Numero de paginas Año | 87 p 2015 |

.....para que la vida –no tú ni yo- la vida, sea para siempre.....
Jaime Sabines

Agradecimientos

A la Dra. María Guadalupe Barajas Guzmán por transmitirme sus conocimientos de Estadística y Ecología; así como brindarme su apoyo y asesoría así en el campo como en el laboratorio.

A la M. en C. María Cristina Mayorga Martínez por la revisión y asesoría en la identificación de hemípteros y escarabajos.

Al M. en C. Francisco Medina Soriano por revisar mi tesis, enseñarme y ayudarme en la identificación de arañas.

A la Dra. Edna Naranjo García por su magnífica revisión y sus comentarios a la tesis.

A la Dra. Blanca Estela Mejía Recamier por revisar y hacer comentarios oportunos para la terminología de este trabajo.

A la M. en C. Ana Isabel Bieler Antolin por ayudarme en la toma de microfotografías de los organismos del suelo recolectados.

A la Dra. Irene Sánchez Gallen por acercarme a la Ecología y ayudarme siempre.

A mis compañeros del Laboratorio de Ecología del Suelo: Daniela Guzmán, Sally Paredes, Dulce Hernández, Ignacio Palacios, Sabina León y Juan Carlos Peña, por su ayuda en la recolección de los organismos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por abrirme sus puertas y ser parte de mi formación.

Al Proyecto: “La Cuenca del Río Magdalena, D.F. como sitio de referencia para el monitoreo de los efectos del cambio climático”. Programa de investigación en Cambio Climático 2012 (PINCC).

Dedicatorias

A mis padres Isabel y Felipe por darme su apoyo a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Marcela, Lizbeth y Ramón por ser mis primeros maestros.

A mi Dany por ser mi motivación y hacerme muy feliz.

A mis amigos Emmanuel, Víctor, Everardo y Fernando por todos estos años de estar conmigo, enseñarme, rodar, jugar y reír. Por ser una parte fundamental y necesaria en mi vida y que a lo largo de los años se han convertido en mis hermanos.

A mis amigas Mariana, Fanny y Aurora por sus consejos.

A Karla y Mónica por ser mis amigas desde el inicio de la carrera.

A mis compañeros y amigos Miguel, David y Mario.

A mis maestros Guadalupe, Irene y Francisco por motivarme y enseñarme varios aspectos de la Biología.

A mis sobrinas Daniela y Mariana.

Índice

| | |
|--|----|
| Resumen | 1 |
| 1. Introducción | |
| 1.1 Los ecosistemas terrestres | 2 |
| 1.2 El suelo | 3 |
| 1.3 Procesos del ecosistema realizados en el suelo | 5 |
| 1.4 Los habitantes del suelo | 8 |
| 1.5 Efectos de la fauna sobre el suelo | 14 |
| 1.6 La macrofauna edáfica | 15 |
| Macromezclado | 16 |
| Micromezclado | 17 |
| Construcción de galerías | 17 |
| Fragmentación | 18 |
| Formación de agregados | 18 |
| Efectos químicos directos e indirectos en el | 19 |
| suelo | |
| Efectos biológicos en el suelo | 20 |
| Perturbaciones y su efecto en los ecosistemas | 20 |
| y el suelo | |
| 2. Antecedentes | |
| 2.1 Estudios a nivel mundial de la macrofauna edáfica en | 21 |
| bosques templados | |
| 2.2 Estudios en México de la macrofauna edáfica | 23 |
| 3. Justificación | 24 |
| 4. Objetivos | |
| 4.1 General | 25 |
| 4.2 Particulares | 25 |
| 5. Hipótesis | 25 |
| 6. Zona de estudio | |
| 6.1 Ubicación geográfica | 26 |
| 6.2 Suelo | 27 |
| 6.3 Clima | 27 |
| 6.4 Vegetación | 28 |
| 6.5 Bosque de <i>Abies</i> | 28 |
| 6.6 Causas de perturbación de la vegetación | 29 |
| 7. Materiales y métodos | 30 |
| 7.1 Análisis de datos | 32 |
| 8. Resultados | |
| 8.1 Abundancia, riqueza taxonómica y biomasa | 33 |
| 8.2 Sitios | |
| Abundancia | 37 |
| Riqueza taxonómica | 39 |
| Biomasa | 40 |
| 8.3 Profundidad | |
| Abundancia | 41 |
| Riqueza taxonómica | 42 |
| Biomasa | 43 |
| 8.4 Diversidad | |

| | |
|------------------------------|----|
| Índice de Shannon-Wiener | 44 |
| Índice de Sørensen | 46 |
| 8.5 Bioindicadores | |
| Scarabaeidae y Curculionidae | 47 |
| Lumbricidae y Geophilidae | 48 |
| 9. Discusión | |
| 9.1 Abundancia | 50 |
| 9.2 Riqueza taxonómica | 51 |
| 9.3 Biomasa | 54 |
| 9.4 Diversidad | 54 |
| 9.5 Bioindicadores | 57 |
| 10. Conclusiones | 59 |
| 11. Referencias | 60 |
| Anexo 1 | 73 |
| Anexo 2 | 87 |

RESUMEN

El propósito de este estudio fue describir la composición, riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica (organismos cuyo diámetro corporal es mayor a 2 mm, incluye principalmente al Filo Arthropoda y del Filo Annelida) tomando en cuenta la profundidad del suelo, así como relacionar estos datos con la cobertura arbórea, y determinar si existe la presencia de organismos que puedan ser usados como bioindicadores de perturbación en el suelo. La colecta de organismos se realizó durante las temporadas de lluvias (septiembre-noviembre de 2013) y sequía (marzo-mayo de 2014) en el bosque de oyamel en la cuenca del río Magdalena. Para la obtención de los organismos se usó el protocolo de monolitos de suelo TSBF. Los datos se analizaron con ANdeVAs de una vía, con las pruebas de t y de Kruskal-Wallis. También se obtuvieron los índices de Shannon-Wiener y de Sørensen. Se recolectaron 2905 organismos distribuidos en 35 familias. La mayor abundancia se registró en la temporada de lluvias con 2233 individuos, y en época de sequía se contabilizaron 572 organismos; con respecto a la diversidad se registró un $H' = 2.7$ como el valor más alto que correspondió a la temporada de sequía. La mayor riqueza y abundancia se observa en la primera capa de los monolitos y en los lugares de cobertura arbórea menor. Se encontraron familias indicadoras de perturbación (Scarabaeidae y Curculionidae), así como familias indicadoras de buena salud del suelo (Lumbricidae y Geophilidae).

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Los ecosistemas terrestres.

Los ecosistemas se definen como una unidad funcional de la naturaleza, constituida por todos los organismos distribuidos en un área determinada y que interactúan entre sí y con el ambiente que les rodea. Estas interacciones entre factores bióticos y abióticos conducirán al establecimiento de una estructura trófica, ciclos biogeoquímicos y una diversidad biótica (Odum, 1972).

Para Odum (1972) existen en general tres medios donde es posible el desarrollo de un ecosistema: 1) agua dulce, 2) agua marina y 3) terrestre, siendo éste último el que posee una mayor variabilidad a través del tiempo y espacio. La forma más común para distinguir a los ecosistemas terrestres es a través de la fisonomía vegetal dominante, la cual va a estar determinada principalmente por el macroclima de la zona. Aunque también se les puede diferenciar por medio de otras características, por ejemplo: el efecto de la continentalidad o su cercanía con el mar, o el efecto de la topografía, separando a los ecosistemas de las partes altas de montañas de los que se sitúan en partes bajas o valles (Whittaker, 1975; Osborne, 2000; Martínez-Yrizar *et al.*, 2010).

En México se han encontrado siete grandes tipos de comunidades vegetales que permiten determinar el tipo de ecosistema existente en una zona, tales grupos son: bosques tropicales perennifolios, bosques tropicales caducifolios, bosques mesófilos de montaña, bosques templados de coníferas y latifoliadas, matorrales xerófilos, pastizales y los humedales (Challenger y Soberón, 2008). Los ecosistemas terrestres están conformados por una serie de elementos abióticos (clima) (figura 1); el clima será de gran importancia, ya que regulará la riqueza y abundancia de organismos (ya sean plantas, animales, bacterias, etc.) de cada uno de los diferentes ecosistemas terrestres (bosques, matorrales, desiertos, etc.). La luz es un factor importante, en especial para las plantas, las cuales son parte fundamental de los ecosistemas, ya que

representan a los productores primarios, pero también influye en la temperatura la cual participa en la regulación de actividades biológicas de otros organismos (reptiles, insectos, mamíferos, etc.). La cantidad de agua presente en los ecosistemas terrestres, tiene una doble importancia, por su acción fisiológica en los organismos y como un transportador de sustancias en las plantas, así como en todo el ecosistema. El aire y el suelo serán dos subsistemas que también caracterizan los diferentes tipos de ecosistemas terrestres, ya que el primero proveerá al sistema de oxígeno, dióxido de carbono y nitrógeno, en tanto que el segundo contendrá nutrientes o elementos minerales que serán esenciales para soportar a todos los organismos que habitan en dichos ecosistemas. En conclusión, la interacción de los factores abióticos con los bióticos tendrá como resultado la formación de un ecosistema específico (Göran y Andersson, 2012).

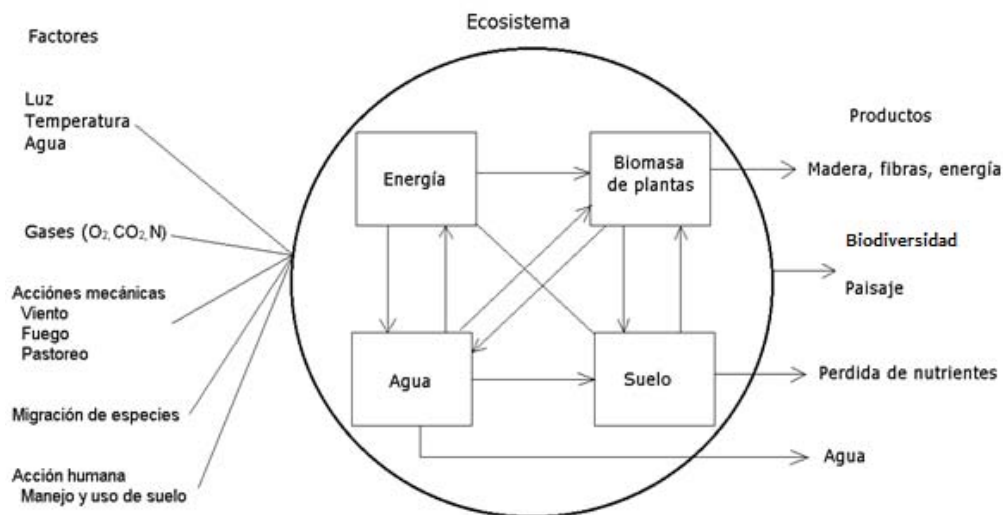


Figura 1. Factores que configuran los sistemas terrestres (Tomado de Göran y Andersson, 2012).

1.2 El suelo

El término suelo se refiere a la parte biológicamente activa que se encuentra en la zona superficial de la corteza terrestre. El suelo es formado inicialmente por el intemperismo de las rocas, debido a procesos físicos y químicos y también

por la actividad y acumulación de residuos de numerosas especies de plantas y animales, ya sean macroscópicos o microscópicos (Hillel, 1982).

Un proceso físico esencial en la formación del suelo es la meteorización que se define como la fragmentación mecánica (desintegración) o alteración química (descomposición) de las rocas; en la meteorización mecánica, la roca se va rompiendo en pedazos cada vez más pequeños, pero sin la modificación de la composición mineral original de la roca, a diferencia de la meteorización química, en donde sí existe una transformación de la roca en compuestos nuevos (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Existen cuatro procesos físicos que inducen la meteorización mecánica: fragmentación por helada, expansión provocada por descompresión, expansión térmica y actividad biológica (Tarbuck y Lutgens, 2005). Los procesos químicos que descomponen los minerales originales de la roca madre, incluyen la hidratación, oxidación y reducción, inmovilización por precipitación o remoción de componentes por volatilización o lixiviación, además de varias reacciones físico-químicas (Hillel, 1982). Otro factor que influye en el desarrollo del suelo es el crecimiento de organismos, contribuyendo con materia orgánica y realizando varios procesos físico-químicos y bioquímicos, que transforman la composición del suelo. Las diferentes participaciones de todos estos procesos son lo que darán por resultado el *perfil característico del suelo* (Hillel, 1982).

La composición inorgánica del suelo está integrada de varios elementos, aunque unos tendrán una mayor predominancia, como por ejemplo: hidrógeno, carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre, aluminio, silicio y metales alcalinos y alcalinotérreos. Existen también varios oligoelementos o micronutrientes que pueden ser biológicamente importantes, funcionando como cofactores enzimáticos, en este ámbito podemos incluir al hierro, cobalto, níquel, cobre, magnesio, manganeso, molibdeno y zinc (Coleman *et al.*, 2004).

Las tres fases comunes en la naturaleza (sólido, líquido y gaseoso) están representadas en el suelo como sigue: la fase sólida constituye la *matriz del suelo*; la fase líquida consiste en el agua presente en el suelo, la cual siempre contiene sustancias disueltas, esta fase puede recibir el nombre de *solución del suelo*; y la fase gaseosa que se refiere a la *atmósfera del suelo*. La matriz del

suelo incluye partículas las cuales pueden variar en sus propiedades químicas y mineralógicas, así como en tamaño, forma y orientación, por ejemplo: arena, limo y arcilla (Hillel, 1982). También se pueden hallar partículas de materia orgánica que se encuentran unidas a materia mineral, formando agregados, los cuales si son estables al agua pueden ser usados para la evaluación de la calidad del suelo (Alvear *et al.*, 2007; Aravena *et al.*, 2007). En conclusión el suelo es un combinado de materia mineral y orgánica, agua y aire, estos componentes, que representan a cada una de las diferentes fases siempre van a estar presentes, aunque en proporciones diferentes. En un suelo normal, alrededor de la mitad del volumen superficial total, está compuesto por material mineral y humus, además de restos de vegetales y animales muertos, los cuales están en constantes procesos de descomposición, transformación y síntesis (Fassbender, 1975; Fassbender y Bornemisza, 1987); en tanto que la otra mitad consiste de espacios porosos (que favorecen el flujo de agua y aire) ubicados entre las partículas sólidas (Tarbuck y Lutgens, 2004). Así, los suelos son el resultado de la interacción de muchos factores bióticos y abióticos, material parental y topografía (relieve) todos actuando a través del tiempo (Jenny, 1941; Coleman *et al.*, 2004). Estos factores afectan en gran medida los procesos del ecosistema (producción primaria, descomposición y ciclo de nutrientes) los cuales conducen al desarrollo de las propiedades únicas del tipo de suelo de un ecosistema. Por lo tanto, características como la capacidad de intercambio catiónico, textura, estructura, estado de la materia orgánica, etc., serán el resultado de los procesos antes mencionados (Coleman *et al.*, 2004).

1.3 Procesos del ecosistema realizados en el suelo

La productividad primaria, también llamada tasa fotosintética se define como la síntesis de materia orgánica a través de compuestos inorgánicos, principalmente CO₂ y H₂O; este proceso requiere de un aporte de energía para los múltiples pasos que constituyen la fotosíntesis, tal energía está dada por la luz solar (Parsons *et al.*, 1984). Este proceso puede considerarse un indicador del potencial ecológico, y es necesario para el planeamiento y manejo de los recursos naturales de un ecosistema (McNaughton *et al.*, 1989). Se ha

observado que la productividad primaria es mayor en las zonas tropicales y subtropicales que en sitios templados o templados-fríos (Gómez y Gallopin, 1991).

Otro proceso importante es la descomposición de material orgánico en el cual están involucrados varios procesos físicos y químicos, su importancia para los ecosistemas radica en que permite un aporte de nutrientes al sistema (Aber y Melillo, 1991). Esta aportación de nutrientes se debe a la desintegración de materia orgánica, ya sea de origen animal, vegetal o microbiano (Mason, 1976). Esta fragmentación está a su vez conformada por dos subprocesos: 1) la segmentación de las partículas de mayor tamaño, producirá a su vez formas más pequeñas hasta el punto en que los componentes estructurales ya no son reconocibles y 2) el catabolismo de los compuestos orgánicos (Satchell, 1974). La descomposición ha sido relacionada con variables climáticas, edáficas, de composición de detrito, o microbiológicas lo que ha demostrado que éste proceso no es simplemente un proceso contrario a la producción primaria, aunque sí de igual importancia dentro de los ecosistemas (Moorhead *et al.*, 1996). En este proceso están involucrados microorganismos heterotróficos, hongos y bacterias, los cuales son capaces de reintroducir compuestos orgánicos al sistema, además de servir como alimento para especies detritívoras. Por tanto, la descomposición desempeña un papel esencial en los ecosistemas, regulando la dinámica de los nutrientes y actuando como una vía de redistribución energética (Álvarez, 2005).

En muchos suelos, su salud dependerá de muchas y varias especies que llevan a cabo uno de los cientos de procesos enzimáticos o físicos que ocurren en él. Esta redundancia funcional -la presencia de varios organismos que llevan a cabo una misma tarea- conduce tanto a una *estabilidad* como a una *resiliencia* del suelo. La *estabilidad* describe la capacidad de los suelos para cumplir ciertas funciones como el ciclo de nutrientes o asimilación de residuos orgánicos, a pesar de variaciones del medio y entrada de insumos. La *resiliencia* se describe como la capacidad del suelo para “recuperarse” después de sufrir una perturbación severa que ha modificado los procesos normales (Brady y Weil, 2008).

En suelos en donde existe una diversidad alta, es difícil que se presente una dominancia por parte de una única especie, por tanto, es difícil que pueda producirse una alteración en todo el ecosistema si se da la pérdida de una especie. Sin embargo, para ciertos procesos del suelo, tales como oxidación del amonio, oxidación del metano, o la creación y aireación de macro poros, la responsabilidad recae sólo en unas cuantas especies; la actividad y abundancia de estas especies clave (por ejemplo, algunas bacterias nitrificantes y lombrices de tierra) merecen una especial atención, debido a que sus poblaciones podrán indicar la salud de todo el ecosistema (Brady y Weil, 2008). Además existen otras especies denominadas ingenieros del ecosistema, que a través de sus actividades son capaces de estructurar físicamente el medio que les rodea, afectando así a los demás organismos a través del control directo o indirecto de la disponibilidad o accesibilidad de los recursos naturales (Jones *et al.*, 1994).

Las actividades de la flora y fauna del suelo están íntimamente relacionadas, dando lugar a una cadena trófica, algunas de estas relaciones se muestran en la figura 2, en donde se ilustran, cómo varios organismos participan en la degradación de residuos de las plantas superiores. Cuando un organismo consume a otro, se dice que los nutrientes y energía están pasando de un nivel trófico a otro nivel superior (Brady y Weil, 2008).

El primer nivel trófico está integrado por los productores primarios (plantas y algas), a este nivel le siguen los consumidores primarios (nematodos, hongos, etc). El tercer nivel (depredadores) está compuesto por organismos que se alimentan de consumidores primarios. Por último el cuarto nivel está conformado por organismos que pueden beneficiarse de los dos niveles anteriores. Cabe señalar que algunos organismos, pueden ser parte de uno o más niveles tróficos, como es el caso de algunas lombrices de tierra y nematodos (Polis, 1991; Stuart *et al.*, 2011).

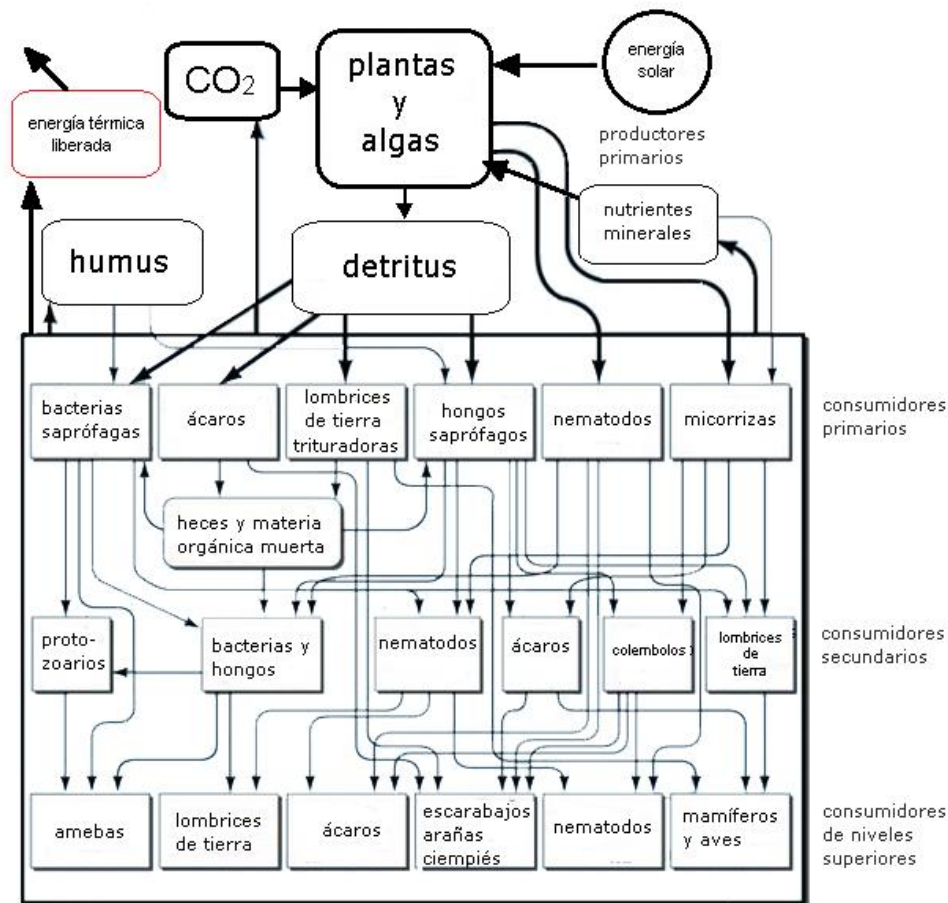


Figura 2: Diagrama de la red trófica del suelo, que involucra la descomposición del tejido vegetal, formación de humus y el ciclo de carbono y nutrientes. Los rectángulos contienen a los diferentes grupos de organismos que comprenden la comunidad del suelo; las flechas representan la transferencia de carbono de un grupo al siguiente. Las flechas gruesas que entran en la parte superior del recuadro de sombreado, representan el consumo primario de carbono procedente del tejido de los productores (en su mayoría, plantas, algas y cianobacterias). Aunque todos los grupos muestran un rol importante en los procesos, un 80 a 90% de la actividad metabólica total de la red trófica puede atribuirse a los hongos y bacterias (incluyendo actinomicetos); resultado de este metabolismo, es sintetizado el humus y el dióxido de carbono, energía térmica y nutrientes minerales que posteriormente son liberados en el suelo (Brady y Weil, 2008).

1.4 Los habitantes del suelo

Una pequeña porción de suelo puede contener billones de organismos, con representantes de casi todos los Phyla de los seres vivos. Una clasificación general de los organismos de suelo se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación general de acuerdo al tamaño que presentan algunos de los organismos del suelo (Brady y Weil, 2008).

| Agrupación generalizada (ancho del cuerpo en mm) | Principales grupos taxonómicos | Ejemplos |
|--|---------------------------------|---|
| Macrofauna (>2 mm) Heterótrofos, en su mayoría, herbívoros y detritívoros. | Vertebrados | Tuzas, ratones, topos |
| | Artrópodos | Hormigas, escarabajos y sus larvas, ciempiés, larvas, gusanos, milpiés, arañas, termitas, cochinillas |
| | Anélidos Moluscos | Lombrices de tierra Caracoles, babosas |
| Macroflora En gran medida organismos autótrofos | Plantas vasculares Briófitas | Raíces principales Musgos |
| Mesofauna (0.1-2mm) Heterótrofos (detritívoros) Heterótrofos (depredadores) | Artrópodos | Ácaros, colémbolos. |
| | Anélidos | Enquitreidos |
| | Artrópodos | Ácaros. |
| Microfauna (<0.1 mm) Detritívoros, depredadores. | Nematodos | Nematodos |
| | Rotíferos | Rotíferos |
| | Protozoarios | Amibas, ciliados, flagelados |
| | Tardígrados | Osos de agua. |
| Microflora (<0.1 mm) Autótrofos Heterótrofos Heterótrofos y autótrofos | Plantas vasculares | Pelos radiculares |
| | Algas | Verdes, diatomeas. |
| | Hongos | Levaduras, mohos, hongos |
| | Bacterias | Aerobios y anaerobios |
| | Cianobacterias | Algas verde-azules |

El término fauna es usado generalmente para distinguir a los animales (incluyendo algunos protistas unicelulares) de la flora, la cual se refiere de igual manera para plantas verdaderas (incluyendo algas unicelulares) así como para todos los microorganismos que no son animales (Brady y Weil, 2008). Los organismos también pueden clasificarse de acuerdo a sus hábitos alimenticios, algunos organismos subsisten de consumir plantas (herbívoros), otros se alimentan de

materia orgánica en descomposición (detritívoros). Algunos consumen animales (depredadores), mientras otros se favorecen de hongos o bacterias, y por último, existen individuos que necesitan un hospedero para sobrevivir (parásitos) (Brady, 2008). La verdadera producción heterotrófica de la fauna del suelo es pobremente conocida, ya que aspectos como la biomasa, tasas y eficiencias de alimentación son difíciles de evaluar. Las estimaciones de la biomasa de animales del suelo no son comunes y los conocimientos de los índices de energía o la transferencia de materia en las redes alimentarias, son mínimas (Moore y De Ruiter, 1991).

Las comunidades de la fauna del suelo difieren tanto taxonómicamente como en tamaño, y dichas diferencias determinaran el tipo de función que llevarán a cabo en el sistema. También pueden variar dependiendo de algunos factores como por ejemplo: gradientes latitudinales y de temperatura, tipo del suelo, vegetación y uso de suelo (Brady y Weil, 2008).

La fauna del suelo influye en la fragmentación, transformación y transporte de desechos orgánicos, así como en la regulación de las poblaciones de hongos y bacterias (Stuart *et al.*, 2011). En sistemas ya sean naturales o agrícolas, los organismos del suelo desempeñan otras funciones vitales que pueden ser mejoradas cuando todos los organismos interactúan; dichas funciones van desde efectos físicos, tales como la regulación de la estructura y regímenes hídricos del suelo, a los procesos químicos y biológicos, como la degradación de los contaminantes, la descomposición, el ciclo de nutrientes, las emisiones de gases de efecto invernadero, la captura de carbono y mejoran el crecimiento de las plantas (Tabla 2) (Brady y Weil, 2008).

Tabla 2. Funciones esenciales realizadas por los organismos del suelo (Lavelle *et al.*, 2011)

| Funciones | Organismos involucrados |
|--|---|
| Mantenimiento de la estructura del suelo | Invertebrados, raíces de plantas y micorrizas |
| Regulación de procesos hidrológicos en el suelo | Invertebrados bioindicadores y raíces de plantas |
| Intercambio gaseoso y secuestro de Carbono | Generalmente microorganismos y raíces de plantas |
| Desintoxicación del suelo | Principalmente microorganismos |
| Ciclo de nutrientes | Microorganismos, raíces de las plantas y algunos invertebrados que se alimentan de suelo y hojarasca |
| Descomposición de materia orgánica | Varios invertebrados saprófitos (detritívoros), hongos, bacterias y actinomicetos |
| Supresión de plagas, parásitos y enfermedades | Plantas, micorrizas y otros hongos, nematodos, bacterias, colémbolos, lombrices de tierra y varios depredadores |
| Fuente de alimentos y medicinas | Raíces de plantas, insectos (grillos, larvas de escarabajos, hormigas, termitas), lombrices de tierra, vertebrados, microorganismos y sus productos |
| Relaciones simbióticas con plantas y sus raíces | Rizobios, micorrizas, actinomicetos, diazótrofos y otros organismos de la rizosfera y hormigas |
| Control del crecimiento de plantas (positivo y negativo) | Efectos directos: raíces de las plantas, rizobios, micorrizas, actinomicetos, nematodos, fitoparásitos e insectos rizófagos |

Para reducir la enorme complejidad de los organismos que viven en el suelo, se ha propuesto una división de los organismos del suelo de acuerdo al tamaño que presentan (Brady y Weil, 2008):

1. Microfauna, se constituye por invertebrados acuáticos que viven en los poros del suelo llenos de agua. Son pequeños, menos de 0.2 mm en promedio, e incluyen a los protistas y nematodos, junto con otros grupos de menor importancia, como por ejemplo tardígrados y rotíferos.
2. Mesofauna, comprende a microartrópodos (principalmente Collembola y Acari) y pequeños individuos pertenecientes a la subclase Oligochaeta y Enchytraeidae; tienen un rango de medida promedio de 0.2-2 mm y viven en los poros del suelo que contienen aire, y también se les puede encontrar en la hojarasca.

3. Macrofauna, son invertebrados que miden más de 2 mm. Termitas, lombrices de tierra y artrópodos son los principales representantes de este grupo. Estos organismos tienen la capacidad de crear caminos en el suelo, ya sea por excavación o por la ingesta del mismo suelo, creando estructuras (por ejemplo, madrigueras, galerías, nidos y cámaras) que facilitan sus movimientos y actividades. Estos organismos han sido llamados “ingenieros del ecosistema” por su habilidad para afectar profundamente la estructura del suelo y por lo tanto, tienen una mayor influencia en los procesos de éste (Brady y Weil, 2008).

Los organismos del suelo, especialmente los invertebrados, difieren de los de otros estratos del ecosistema, ya sean vertebrados o insectos, ya que se exponen a un conjunto de limitantes externos (factores ambientales) e internos (su propio sistema digestivo). Por lo tanto estos invertebrados del suelo desarrollan estrategias adaptativas específicas, estableciendo generalmente relaciones mutualistas y evitando interacciones antagónicas con otras especies. Los invertebrados del suelo tienen varias estrategias, desde los más pequeños, *microfauna*, capaces de colonizar el espacio de los poros llenos de agua, de la misma manera que los microorganismos, hasta la *macrofauna*, que es capaz de modificar el ambiente del suelo para satisfacer sus propias necesidades (Coleman *et al.*, 2004).

La fauna del suelo también puede ser caracterizada por el grado de presencia en el suelo (Fig. 2), es decir, por la utilización de su micro hábitat en los distintos estadios por los que pasa un organismo. Hay especies transitorias, por ejemplo: el escarabajo mariquita, el cual sólo usa el suelo para hibernar, y al estar activo vive en el estrato vegetal. Algunos mosquitos del orden Diptera representan a residentes temporales del suelo, ya que sus huevos son depositados en el suelo, posteriormente la larva se alimenta de restos orgánicos en descomposición y finalmente en la etapa adulta abandonan el suelo, viviendo el resto de su vida sobrevolando en la superficie de éste. Los gusanos cortadores, larvas de polillas pertenecientes a la familia Noctuidae, también son residentes temporales, alimentándose de las plantas por la noche

y escondiéndose en el suelo durante el día. Los residentes periódicos, pasan la mayor parte de su vida bajo el suelo, tal como pasa con los ácaros de terciopelo, los cuales sólo emergen a la superficie para reproducirse. Desde esta perspectiva, las redes tróficas existentes en el suelo están ligadas a los sistemas que están por encima de éste, dando como resultado redes con un grado mayor de complejidad. Entre los microartrópodos, los colémbolos (*Collembola*) son ejemplos de residentes permanentes del suelo (Fig. 3). La morfología de los colémbolos revela sus adaptaciones para la vida en diferentes estratos del suelo. Las especies de este grupo que habitan en la superficie del suelo o en la capa de hojarasca, pueden ser muy grandes, pigmentados y equipados con grandes antenas y un muy desarrollado aparato de salto (fúrcula). Dentro del suelo mineral, los colémbolos tienden a ser muy pequeños, sin pigmentación, con cuerpos alargados y fúrculas muy reducidas, ya que no existe la posibilidad de saltar en un medio así (Coleman *et al.*, 2004). Esta temporalidad se relaciona estrechamente con las diferentes funciones que puede llegar a cumplir un mismo organismo a través de todo su desarrollo, por lo cual también se han propuesto varias clasificaciones tomando por criterio las funciones que pueden realizar dichos organismos, y esto es posible debido a esta redundancia entre las especies, es decir, distintas especies pueden llevar a cabo las mismas funciones (Brussaard, 1998).

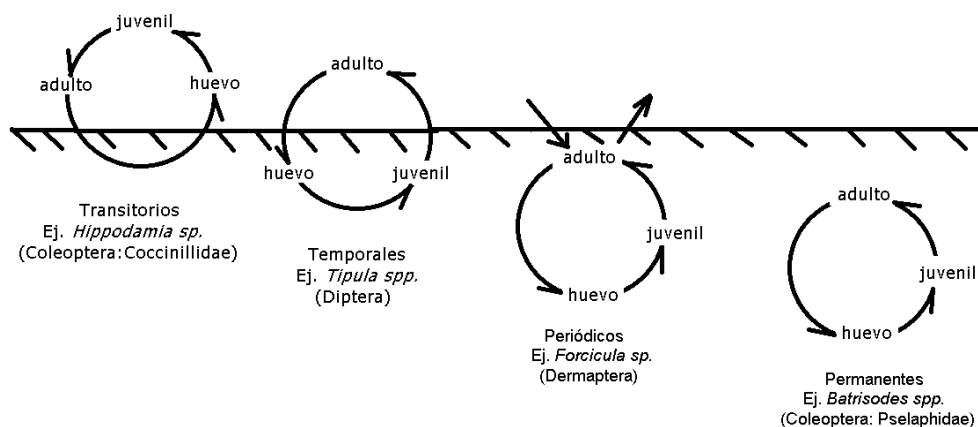


Figura 3. Categorías de los animales del suelo definidas según el grado de presencia en el suelo, como se ilustra en algunos grupos de insectos (de Wallwork, 1970).

Las comunidades de la fauna del suelo ofrecen oportunidades para realizar estudios de fenómenos tales como: la interacción de las especies, utilización de recursos o su distribución espacio-temporal. Los animales que usualmente son miembros de esta fauna son invertebrados, siendo los escarabajos generalmente los más diversos, en abundancia predominan las hormigas y termitas, en tanto que en biomasa las lombrices de tierra son su mayor exponente. La abundancia de esta fauna puede alcanzar varios millones de individuos por hectárea, y con una riqueza que podría superar el millar de especies en ecosistemas como las selvas (Brown *et al.*, 2001). Muchos grupos de especies son difíciles de determinar taxonómicamente, debido al reajuste de especies o la adición de nuevos grupos, esto como resultado del constante descubrimiento de nuevas especies, especialmente de la clase *Insecta*, por lo que es necesario e inherente en estudios ecológicos la cooperación de zoólogos, ya sea para una correcta identificación de los organismos o para la generación de grupos que contengan distintas especies pero con una biología similar (Coleman *et al.*, 1983; 1993; Coleman, 2004). Por ejemplo, en el caso de los microartrópodos, sólo alrededor del 10 % de las poblaciones han sido bien exploradas (André *et al.*, 2002). Por tanto la protección de la biodiversidad en los ecosistemas, claramente debe incluir la rica gama de las especies del suelo (Coleman *et al.*, 2004).

1.5 Efectos de la fauna sobre el suelo

La calidad del suelo puede ser considerada como el grado o medida para la cual el suelo puede: (1) promover la actividad biológica (plantas, animales y microorganismos); (2) mediar el flujo del agua en el medio y (3) mantener la calidad del medio ambiente, actuando como amortiguador que puede asimilar los desechos orgánicos y aminorar los efectos de contaminantes (Linden *et al.*, 1994). Muchos científicos que se dedican al estudio del ambiente, intentan usar el concepto de organismos indicadores o comunidades indicadoras como una buena vía para determinar la salud general del suelo (por ejemplo, Bongers, 1990; Ettema y Bongers, 1993; Foissner, 1994; Linden *et al.*, 1994; Neher *et*

al., 1995; Ferris *et al.*, 2001). Debido a su gran tamaño y a su amplio conocimiento, las lombrices de tierra son muchas veces consideradas como un signo de un suelo “saludable” (Linden *et al.*, 1994; Hendrix, 1995). Todos los integrantes de la biota juegan papeles importantes, afectando e influyendo en los procesos del suelo. Entre la fauna, la microfauna tiene un rol importante, siendo la que posee una mayor interacción con la microflora. La mesofauna y macrofauna crean bolitas fecales y producen bioporos de diferentes tamaños, que afectan el flujo y almacenaje del agua, así como el crecimiento y proliferación de raíces (Coleman, 2004).

1.6 La macrofauna edáfica

La macrofauna está constituida por organismos cuyo tamaño es mayor a 2 mm, e incluye principalmente al Phylum Annelida, subclase Oligochaeta (lombrices de tierra) y al Phylum Arthropoda, principalmente familias del orden Coleoptera, por ejemplo: Scarabaeidae, Curculionidae, Elateridae y Chrysomelidae (Linden *et al.*, 1994) (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación taxonómica de los grupos más significativos que integran la macrofauna del suelo (Zerbino-Bardier, 2005).

| Filo | Clase | Sub-clase | Orden |
|------------|-------------|-----------|-------------|
| Annelida | Clitellata | - | Oligochaeta |
| Arthropoda | Arachnida | - | Aranae |
| | Insecta | - | Coleoptera |
| | | | Dictyoptera |
| | | | Diptera |
| | | | Hemiptera |
| | | | Hymenoptera |
| | | | Homoptera |
| | | | Isóptera |
| | | | Orthoptera |
| | Crustacea | - | Isópoda |
| Myriapoda | Chilopoda | | |
| | Diplopoda | | |
| Nematoda | Adenophorea | - | Mermithida |
| Mollusca | Gastropoda | - | |

La macrofauna habita en la superficie del suelo, en los espacios (poros) que en éste existen y en áreas cercanas a raíces. Su forma de vida, movimientos en el suelo, excreciones e incluso su muerte tienen un impacto directo e indirecto en su hábitat. Las actividades biológicas de la macrofauna regulan los procesos y fertilidad del suelo en un grado significativo (Lavelle *et al.*, 2008).

Las diferentes especies que integran la macrofauna tendrán diferentes efectos en su hábitat, ya sean físicos, químicos o biológicos. Dentro de los físicos existen 5 procesos importantes:

1. Macromezclado
2. Micromezclado
3. Construcción de galerías
4. Fragmentación
5. Formación de agregados

Macromezclado

Hormigas, lombrices de tierra y escarabajos son capaces de mover una cantidad importante de suelo, también pueden transportar minerales, materia orgánica, hojarasca y excrementos de la superficie hacia horizontes profundos del suelo, en estudios realizados en selva se ha observado que la mayor densidad de individuos con su respectiva actividad, se encuentran en los primeros 10 cm de profundidad, pero pueden extenderse hasta los 70 cm de profundidad (Villalobos *et al.*, 2000). La macromezcla realizada por las lombrices de tierra es la de mayor importancia en el suelo, esto puede ser medido por la cantidad de turrículos encontrados en la superficie del suelo, llegando a producir de 40 a 250 toneladas por hectárea en un año (Lavelle *et al.*, 2008).

Algunos escarabajos, especialmente los pertenecientes a la familia Scarabaeidae, mantienen una estrecha relación con el excremento y carroña de vertebrados superiores, la cual aprovechan para su alimentación y

reproducción (Halffter y Matthews, 1966; Halffter y Edmonds, 1982), gracias a esta forma de vida se convierten en organismos muy eficientes para el suelo, ya que incorporan y remueven excrementos que están en la superficie del suelo, dando como resultado, un enriquecimiento de éste (Lavelle *et al.*, 2008).

Micromezclado

Otros grupos de la macrofauna influyen en la estructura del suelo en una forma menos espectacular, el micromezclado que realizan es de igual importancia que el macromezclado; estos organismos, principalmente las larvas de los dípteros tienen una capacidad más limitada de excavar en el suelo, manteniéndose por más tiempo en la superficie, pero sin dejar de realizar la tarea de incorporar materia orgánica hacia el suelo. Sin embargo, sólo pueden llevar esta materia orgánica a una profundidad de hasta 60 cm (Lavelle *et al.*, 2008).

Construcción de galerías

La formación de galerías (túneles) es muy importante para la aireación del suelo y el flujo de agua. Por ejemplo, las lombrices de tierra y termitas desarrollan redes de túneles que mejoran en un 20-100 % la creación de macroporos del suelo. Las lombrices de tierra, se estima que pueden crear de 400-500 m de galerías por metro cuadrado en pastizales. Estas galerías son más abundantes en los primeros 40 cm de profundidad y pueden representar hasta el 3% del volumen total del suelo. En estas condiciones, la capacidad de retención de agua del suelo puede aumentar en un 80 por ciento y el flujo de ésta puede ser de cuatro a diez veces más rápido. Los suelos agrícolas poseen un alto grado de compactación, lo cual que impide el flujo e infiltración de agua y provoca una mayor erosión del suelo; las lombrices de tierra crean galerías que mejoran la retención del agua, además de crear espacios para la penetración de raíces. Dando como resultado condiciones que fomentan la diversidad vegetal y la restauración de la productividad primaria (Lavelle *et al.*, 2008).

Por lo tanto, las galerías funcionan como un sistema de drenaje que recoge agua de lluvia y facilita su flujo (Subler *et al.*, 1997; Edwards y Bohlen, 1992). Arrastrando a su vez material pequeño (arcillas) a través de éstos. Las galerías son también espacios que sirven para que otros invertebrados, con limitadas capacidades de excavación, puedan penetrar desde la superficie hasta ciertas profundidades del suelo, como por ejemplo: pequeñas lombrices, babosas, larvas de insectos y mesofauna (Lavelle *et al.*, 2008), los cuales al formar parte de la biota del suelo intervendrán en la descomposición orgánica, así como en la aceleración y reciclaje de nutrientes y por último serán determinantes en procesos de mineralización de compuestos fosfatados y nitrogenados, que serán necesarios para la tasa de productividad del suelo (Usher *et al.*, 2006).

Fragmentación

La fragmentación de madera muerta (lignina), cadáveres de animales y otros desechos orgánicos, es una de las principales actividades de la macrofauna; esta fragmentación tiene efectos importantes en la evolución de la materia orgánica en el suelo y condiciona la actividad de bacterias, hongos y microfauna. La fragmentación se realiza por animales saprófagos, los cuales se alimentan de materia vegetal en descomposición y animales muertos (Lavelle *et al.*, 2008).

Formación de agregados

Después del proceso de fragmentación, la materia orgánica es transformada, estabilizada y acumulada en el suelo, su nueva composición se basa en diferentes moléculas complejas y de alto peso, que resultan ser muy resistentes a la biodegradación, este nuevo estado de la materia orgánica recibe el nombre de humus (León-García *et al.*, 2007), y al unirse con minerales del suelo es capaz de formar agregados, que son esenciales para la estabilidad del suelo, así como para evitar la pérdida de suelo por erosión

(Alvear, 2007) además de favorecer la penetración del agua y su retención, lo mismo que el intercambio gaseoso (Julca-Otiniano *et al.*, 2006). Lombrices, termitas, milpiés, ciempiés y cochinillas al ingerir su alimento (que contiene partículas del suelo), también contribuyen a la formación de agregados, por la mezcla en su sistema digestivo de material mineral y orgánico (Lavelle *et al.*, 2008).

Efectos químicos directos e indirectos de la macrofauna en el suelo.

La descomposición de la materia orgánica es un proceso fundamental a nivel de ecosistemas, ya que funciona como un modelo de reciclaje masivo de elementos químicos (Gelvez, 2008). El efecto químico más importante que realiza la macrofauna edáfica, es la modificación de la calidad de los alimentos a través de su pasaje en el intestino y en particular, la mineralización de la materia orgánica y la liberación de nutrientes; también influye en la composición química del suelo a través de la deposición de excrementos (Lavelle *et al.*, 2008). En el caso de las lombrices, sus excretas aumentan las concentraciones de Carbono y Nitrógeno en el suelo (Aranda, 1989).

El principal efecto químico indirecto es la mineralización del N, P y S, a través de la activación de la microflora, que son organismos menores a 2 mm, representan una porción importante de la vida del suelo, comprendiendo alrededor del 60 a 80% del total. Sin embargo, para llevar a cabo sus funciones, necesitan estar en contacto con la materia orgánica del suelo (MOS) de la cual se alimentan; debido a su incapacidad para moverse (lo cual es más crítico en bacterias que en hongos) en el suelo en busca de comida, los microorganismos sólo están activos durante períodos cortos de tiempo (el tiempo necesario para consumir la materia orgánica alrededor de ellos), en un número limitado de micrositos (donde las condiciones de temperatura y humedad son adecuadas para su actividad). El resto del tiempo esta microbiota, en especial las comunidades de bacterias, aparecen como una única y enorme población latente, de una riqueza de especies con una

capacidad de sobrevivir excepcional (Jenkinson y Land, 1981), es aquí donde la macrofauna juega un papel importante de manera indirecta en el funcionamiento de los ecosistemas, ya que impulsa a través de sus actividades a la microbiota, promoviendo aspectos benéficos para las plantas (base de las redes tróficas) a las que se encuentran asociados, esta microbiota también les facilita la captación de nutrientes, produciendo fitohormonas que favorecen el enraizamiento y protegiendo a la planta frente a patógenos (Rodríguez-Romero y Jaizme-Vega, 2011; Lavelle, 1996).

El contraste del potencial de los microorganismos para una descomposición rápida de la materia orgánica y lo visto en campo es llamado “Paradoja de la Bella Durmiente” (Lavelle *et al.*, 1994). La macrofauna, capaz de mover el suelo y cambiar las condiciones ambientales a una escala pequeña, así como interrumpir este letargo (actuando como “príncipe azul”) proporcionando sustratos asimilables como lo son: exudados de las raíces, moco de lombrices y otros materiales con lo que se inicia la capacidad metabólica de los microorganismos. Por lo tanto, parecen ser los principales reguladores de las actividades microbianas (Lavelle, 1996).

Las interacciones entre los microorganismos (con una alta capacidad de digerir casi todos los sustratos orgánicos) y macrofauna (con el potencial de realizar las actividades mecánicas) son la base de la regulación de los sistemas biológicos que determinan la función del suelo (Lavelle y Spain, 2001).

Efectos biológicos de la macrofauna en el suelo

La reducción en la diversidad y abundancia de organismos del suelo, en especial depredadores, causa un mal funcionamiento de todo el ecosistema, dando lugar a un desequilibrio entre los organismos benéficos y perjudiciales, que pueden conducir a una dominancia de animales nocivos para las plantas, como por ejemplo, áfidos, nematodos fitófagos, bacterias y hongos, así como larvas de las familias Elateridae y Tenebrionidae (Barros *et al.* 1996; Blanchart *et al.* 1997).

Perturbaciones y su efecto en los ecosistemas y el suelo

El cambio de uso-cobertura del suelo se define como las modificaciones o recambios que por acción antropogénica o natural sufren los componentes de una zona (Mendoza *et al.*, 2001). Dentro de los procesos naturales que afectan las características del suelo podemos encontrar a la sucesión ecológica, variaciones climáticas, erupciones volcánicas, huracanes, entre otros desastres naturales; en tanto que las actividades humanas que contribuyen a estos cambios están la agricultura, la extracción excesiva de maderas y pastoreo extensivo (Burel y Baudry, 2002).

Los cambios en el uso de suelo, generalmente están relacionados con la deforestación, que ocasionan importantes impactos ecológicos, es decir, propician la pérdida de suelo a través de la erosión, cambios en los microclimas de cada ecosistema y disminución en la diversidad de especies, a nivel global pueden influir en un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, provocando la aceleración del calentamiento global (Bocco *et al.*, 2001). Sumado a la deforestación, el sobrepastoreo es otro agente que acaba con la vegetación natural de los ecosistemas (Lambin *et al.*, 2003). Los cambios en la cobertura del suelo afectan la productividad primaria, la calidad del suelo, así como las tasas de escorrentía y sedimentación (Steffen *et al.*, 1992).

En síntesis, la reducción de la biodiversidad que existe sobre el suelo es normalmente asociada con la alteración de varios parámetros ambientales, incluyendo el suministro de Carbono al suelo, el cual provee las bases para que existan poblaciones diversificadas en el suelo (Barros *et al.*, 2002).

2. ANTECEDENTES

2.1 Estudios a nivel mundial de la macrofauna edáfica en bosques templados

Existen varios estudios en los cuales se ha observado la macrofauna edáfica que se asocia a los bosques de *Abies*, en 2009 Valladares realizó un trabajo en donde se describieron los factores bióticos y abióticos de un bosque de *Abies*, en el cual mencionan que la abundancia y ecología de estas especies está relativamente poco estudiada; en este caso se encontraron especies que son plaga como por ejemplo: termitas de la especie *Termes lucifugus* Ross. 1792, coleópteros como *Ergastes faber* L. 1758, *Hylotrupes bajulus* L. 1758, *Callidium bajulus* (= *Cerambyx bajulus*) L. 1758, *Anthaxia sepulchralis* Fabr. 1801, *Anthaxia ceballosi* Esc. 1931, *Buprestis flavoangulata* Fairm. 1856, *Chrysobothris solieri* Lap. 1837, *Cryphalus numidicus* Eich. 1878, *Pityophthorus pinsapo* Pfeff. 1982, *Crypturgus barbeyi* Stroh. 1929, *Orthotomicus erosus* Woll. 1857, *Rhyncolus elongatus* Gyll. 1827, *Calopus serraticomis* L. 1758, *Otiorhynchus jaenensis* Stier. 1873. Entre los himenópteros destacan dos especies comunes a los bosques de abetos europeos *Sirex gigas* Hert. 1909 y *Xylocopa violácea* L. 1758.

Auclerc y colaboradores (2012), observaron la abundancia, densidad y riqueza taxonómica, en un bosque de *Abies* y *Picea abies*, ubicado al noreste de Francia, para ello su unidad de muestreo fueron bloques de suelo de 25 x 25 x 15 cm, dando como resultado un total de 2386 individuos pertenecientes a 101 géneros. También midieron la biomasa de cada uno de los taxones encontrados.

En un estudio realizado en India, en 2012, llevado a cabo por Ali y colaboradores describieron la composición y diversidad (Índice de Shannon-Wiener) de la fauna epigea e hipogea de cuatro sitios (dos de ellos fueron bosques de *Abies*), los resultados reportados fueron los siguientes: 18 géneros y una $H' = 2.09$ para organismos epigeos y para especies hipogreas se encontró

un total de 22 géneros y una $H' = 2.21$. En cuanto a los animales más abundantes de los suelos muestreados fueron especies del orden Coleoptera, Araneida, Orthoptera, Hemiptera, Hymenoptera y Diptera.

En 2010, Roufied y colaboradores estudiaron la importancia de los factores bióticos en la descomposición de materia orgánica en un bosque templado, dedicando una parte del estudio al papel de la macrofauna edáfica, atendiendo principalmente a las lombrices de tierra y milpiés, de este último grupo se eligió la especie *Glomeris marginata* Vill. 1758, ya que es un organismo saprófago, además de ser el más abundante en la zona de estudio. Concluyendo que la especie analizada influye en la transformación física de los desechos orgánicos pero no en las transformaciones químicas. También en este año Bo y colaboradores trabajaron en un bosque mixto de *Abies*, al oeste de Sichuan, donde registraron que la macrofauna está compuesta principalmente por los órdenes Coleoptera, Diplopoda y Diptera; también calcularon el índice de Shannon-Wiener de cada uno de los muestreos realizados, en donde el valor más alto de éstos fue una $H' = 1.55$.

Striganova en 1996, encontró que la macrofauna del suelo de los bosques de *Abies* del oeste de Siberia están constituidos principalmente por arañas del género *Lycosa* sp. (13.7 %), especies de la familia Lithobiidae (11.6 %), Homoptera (9.4 %) y lombrices de tierra (32.5 %).

En otro trabajo, Bachelier en 1971, estimó el número de individuos por metro cuadrado en regiones templadas ocupadas por bosques de *Abies*, en donde se encontraron principalmente los grupos: Lumbricidae (50 a 400 inds m^{-2}), Enchytraeidae (10 a 50 x 10^3 inds m^{-2}), Pseudoscorpionidae + Araneidae + Opilionidae (60 inds m^{-2}), Diplura (150 inds m^{-2}), Formicidae (muy variable, de acuerdo al sitio de muestreo), larvas de Coleóptera (100 inds m^{-2}), larvas de Diptera (400 inds m^{-2}), Chilopoda (50 inds m^{-2}), Diplopoda (1 a 200 inds m^{-2}) e Isopoda (100 inds m^{-2}).

Collins en 1980, trabajo en una zona boscosa del oeste de Gunung Mulu, Sarawak, el clima era de tipo templado, en donde observo la distribución de la

macrofauna del suelo, los resultados obtenidos fueron número de individuos por metro cuadrado, en donde los principales grupos fueron: Annelida, Arachnida, Isopoda, Myriapoda, Diplura, Isoptera, Hemiptera, larvas y adultos de Coleoptera, larvas de Diptera y Formicidae.

Cole y colaboradores en 2006 observaron en un pastizal templado que la macrofauna estaba dominada principalmente por lombrices de tierra (en promedio, 172 inds m⁻²) y larvas de la familia Tipulidae y larvas del orden Diptera.

2.2 Estudios en México de la macrofauna edáfica

Nataren-Velázquez y colaboradores (2014) estimaron la diversidad a través del índice de Shannon-Wiener de la macrofauna presente en un suelo de una parcela establecida con árboles forestales, encontrando como resultado una $H' = 0.78$, con un total de 12 especies; afirmando que en comparación con otro trabajo realizado con anterioridad se encontró un $H' = 2.44$, lo que denota que el índice encontrado en estas parcelas es muy bajo.

Baltazar-Ortega (2011), realizó un trabajo en donde identificó a la meso y macrofauna del mantillo de la Cuenca Alta del Río Magdalena, en el cual observó un total de 41,422 organismos pertenecientes a 21 ordenes, concluyendo que conforme aumenta la cantidad de mantillo, también se eleva la abundancia de individuos; en tanto, Martínez-Hurtado (2014) realizó un estudio para observar la variación altitudinal de la macrofauna en la Cuenca del Río Magdalena, obteniendo como resultado un total de 15 morfotipos, identificados hasta el nivel taxonómico de orden. Cabe mencionar que la mayor abundancia fue encontrada en sitios donde la riqueza taxonómica fue menor. Observó también que los ordenes Homoptera, Oligochaeta y Coleoptera se vuelven más abundantes conforme aumenta la altitud.

3. JUSTIFICACIÓN

Los bosques en la Ciudad de México son de gran importancia, ya que proveen recursos de vital importancia para la población, por ello es que se eligió esta zona para ser estudiada y generar datos que favorezcan la formación de planes para la protección de este bosque.

Otro aspecto importante a considerar es la importancia en el estudio del suelo, el cual ha tomado relevancia a través de los últimos años por ser una estructura de soporte para todos los ecosistemas terrestres, debido a que aporta los requerimientos necesarios a los organismos que se encuentran a diferentes niveles tróficos, desde los productores primarios hasta los niveles más altos. Este trabajo pretende explorar fundamentalmente la composición de la macrofauna presente en este complejo sistema. Además es importante enriquecer el conocimiento que se tiene sobre los organismos que habitan en los suelos que sustentan al bosque de *Abies religiosa* de la Cuenca del Río Magdalena; así como conocer las poblaciones de organismos que pueden llegar a ser relevantes en la determinación de la salud del suelo.

4. OBJETIVOS

4.1 General

- Describir la composición, riqueza, biomasa y abundancia de la macrofauna edáfica durante las temporadas de lluvia y de sequía en el bosque de *Abies religiosa* en la Cuenca del río Magdalena.

4.2 Particulares

- Estimar la riqueza y diversidad taxonómica de la macrofauna edáfica en zonas con diferente cobertura arbórea en el bosque de *A. religiosa*.
- Describir los cambios en abundancia y biomasa de la macrofauna con respecto a la profundidad.
- Identificar a las familias indicadoras de perturbación en el suelo.
- Elaborar un catálogo fotográfico de la macrofauna edáfica del sitio de estudio.

5. HIPOTESIS

- La diversidad de la macrofauna aumentará conforme aumenta la cobertura arbórea.
- La abundancia, biomasa y riqueza taxonómica de la macrofauna será mayor en los primeros centímetros de suelo.
- La abundancia de las larvas de Scarabaeidae y Curculionidae será alta en los sitios con menor cobertura arbórea.

6. ZONA DE ESTUDIO

6.1 Ubicación geográfica.

La Cuenca del Río Magdalena se ubica al suroeste de la Ciudad de México, en las coordenadas $19^{\circ}14'35''$ y $19^{\circ}17'53''$ de latitud norte y, $99^{\circ}15'06''$ y $99^{\circ}20'18''$ de longitud oeste; situada en la vertiente occidental de la Sierra de las Cruces que forma parte del Sistema Volcánico Transversal. Por tanto el tipo de relieve es montañoso con un intervalo altitudinal de 2400 a 3860 m s.n.m (Figura 4).

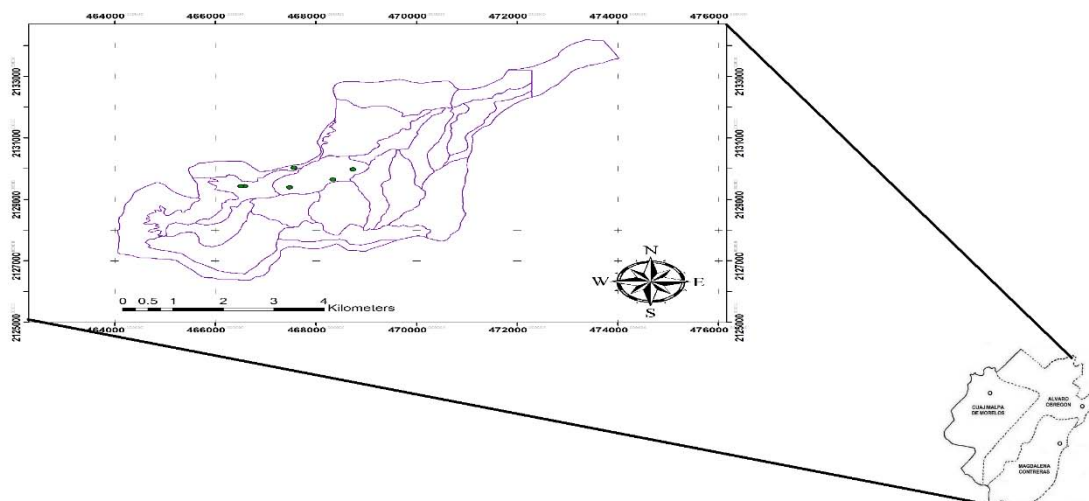


Figura 4. Ubicación geográfica del bosque de *Abies religiosa*; los puntos verdes marcan los seis sitios de muestreo.

Alrededor del 78% de esta zona forma parte de la delegación Magdalena Contreras, mientras que el 17 y 5 % restantes pertenecen a las delegaciones Cuajimalpa y Álvaro Obregón, respectivamente; limitando al norte con el área urbana de la Magdalena Contreras, con la Delegación Tlalpan colinda al este y sureste, al oeste con la delegación Álvaro Obregón y con el Estado de México en el límite suroeste (Álvarez, 2000).

6.2 Suelo

Los suelos que integran la Cuenca del Río Magdalena se han formado a partir del sustrato geológico volcánico, así como de la descomposición de materia orgánica, ya sea de tipo animal, vegetal o microbiana.

Bajo el uso de la clasificación de la UNESCO-FAO (1974) se puede determinar la presencia de suelos de tipo Andosol, el cual se deriva de cenizas volcánicas, de color muy oscuro en la capa superficial, textura esponjosa o suelta y altamente erosionables.

También se puede observar un suelo Andosol húmico cuya característica principal es su alto contenido de materia orgánica, además de ser muy ácido ($\text{pH} < 5$) y pobre en nutrientes. Existe también el suelo de tipo Litosol, con una profundidad menor a 10 cm hasta la roca, desarrollándose principalmente en terrenos montañosos, aunque también son observables en menor medida en terrenos planos, están constituidos por arcillas o arenas, y se encuentran principalmente al norte de esta zona. Los litosoles se encuentran usualmente mezclados con suelos de tipo Andosol húmico; el Feozem es otro tipo de suelo que es visible en esta zona, el cual se caracteriza por su alta cantidad de materia orgánica y nutrientes, se encuentra intercalado con litosoles y andosol húmico (Álvarez, 2000).

6.3 Clima

El subtipo climático, $C(w_2)(w)(b)$ íg –templado subhúmedo con lluvias en verano- está presente en la parte más baja de esta zona, es decir, entre los 2400 y 2800 m s.n.m. con una temperatura media anual que va de 12 a 18 °C.

En tanto que en el intervalo de 2800 a 3500 ms.n.m. (parte más alta), el subtipo de clima es C(w₂)(w)(b) ig, semifrío con verano fresco largo con un régimen de lluvias en verano, con una temperatura media anual de entre 5 a 12 °C A pesar de que la Cuenca del Río Magdalena por latitud se localiza en la Zona Intertropical, el aumento en la altitud influye de manera importante en las temperaturas de esta área (Álvarez, 2000).

La precipitación aumentará con la altura, siendo de 1000 mm en la parte más baja y hasta 1500 mm en la parte más alta, siendo entre abril y octubre donde se concentra la mayor precipitación, considerando así este periodo, como temporada de lluvias. Y por tanto, los meses con los menores índices de precipitación van de enero a marzo, noviembre y diciembre, formando así la época de sequía (Álvarez, 2000).

6.4 Vegetación

Resultado de los factores físicos mencionados anteriormente, es posible observar una vegetación dominada por bosques templados, complementada en un área menor por zacatales (pastizales) y matorrales, los cuales son a menudo considerados como una vegetación secundaria.

En la vegetación arbórea que constituye el clímax, podemos encontrar especies como por ejemplo: *Pinus hartewii* Lind. 1839, *P. leicophylla* Sch. y Cham. 1831, *P. montezumae* Lamb. 1832, *P. teocote* Sch. Y Cham. 1830, *Abies religiosa*, *Quercus spp*, *Salix bonpladiana* Kunt. 1817 y *Taxodium mucronaton* Ten. 1853. La vegetación herbácea está constituida principalmente por las especies: *Piqueria trinervia* Cav. 1795, *Wigandia caracasana* Humb., Bonpl. y Kunt. 1819, *Angeratum corymbosum* Zucc., *Acaena elongata* L. 1758. Así como de varias especies de zacatón (Álvarez, 2000).

6.5 Bosque de *Abies*

En México se ha observado que este tipo de bosque es generalmente encontrado en laderas de cerros, lo que les confiere una protección de la

acción de los vientos y de insolación intensa. Las cañadas y barrancos son generalmente limitantes de los sitios donde se distribuyen los oyameles, generando además un microclima propicio para el óptimo desarrollo de éstos. El oyamel, es difícil de ver en zonas donde el relieve es plano, Madrigal (1967) cita que generalmente en el Valle de México se les puede observar en pendientes que van de los 17 a 60°. La altura de las comunidades de *Abies* está en un intervalo que va desde los 20 hasta los 40 m, e incluso puede alcanzar los 50 m, las copas son de una apariencia triangular, generalmente estos bosques son densos, provocando una condición de penumbra en zonas inferiores, limitando así el desarrollo de los estratos arbustivos y herbáceos (Rzedowski, 2006) (Fig. 5).



Figura 5. Bosque de *Abies religiosa*, se puede observar un dosel bastante amplio que impide una poca incidencia de luz solar (Martínez-Rodríguez, 2013).

Algunas veces los bosques de *Abies* se encuentran en combinación con un estrato arbóreo inferior, el cual está compuesto principalmente por especies de *Quercus*, *Alnus*, *Arbutus*, *Salix*, *Prunus*, *Garrya*, *Buddleia* y otros. En cuanto a los estratos arbustivos y herbáceos, las especies que predominan son las especies de la familia Asteraceae, de los géneros *Senecio*, *Eupatorium*, *Stevia* y *Archibaccharis*. Los musgos son otro tipo de vegetación que es fácilmente observable en las cortezas de los árboles de oyamel, con un 60 a 95 % de cobertura. Otro tipo de organismos que se aprecian en estos bosques son diversas especies de Basidiomicetos (Álvarez, 2000).

6.6 Causas de perturbación en la vegetación

El bosque de *Abies religiosa* en la Cuenca del Río Magdalena (CRM) ha sido alterado a través de diferentes formas de explotación ejercida principalmente por la población local, ya que desde la época prehispánica, este sitio ha sido una fuente de abastecimiento de varios recursos naturales, como por ejemplo, la extracción de madera y carbón, así como la caza de animales para la alimentación. En la actualidad, principalmente el pastoreo y la agricultura han afectado la vegetación natural y el suelo de la zona (Álvarez, 2000).

7. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en dos temporadas, una de lluvias -agosto a octubre de 2013- y una de sequía, de abril a mayo de 2014, en el bosque de *A. religiosa*, en donde se eligieron seis sitios con un gradiente de cobertura arbórea, ésta fue determinada a través del área basal; para esto se midió el perímetro a la altura del pecho (PAP) mayor a 16 cm de los arboles presentes en cada uno de los sitios, posteriormente el área basal de cada árbol fue calculada a través de la fórmula: $AB=(\pi) (r^2)$ y el resultado de cada uno de éstos fue sumado y así cada sitio tuvo un valor diferente: 0; 1; 1.7; 1.8; 2.4 y 3.1 m² (Fig. 6).

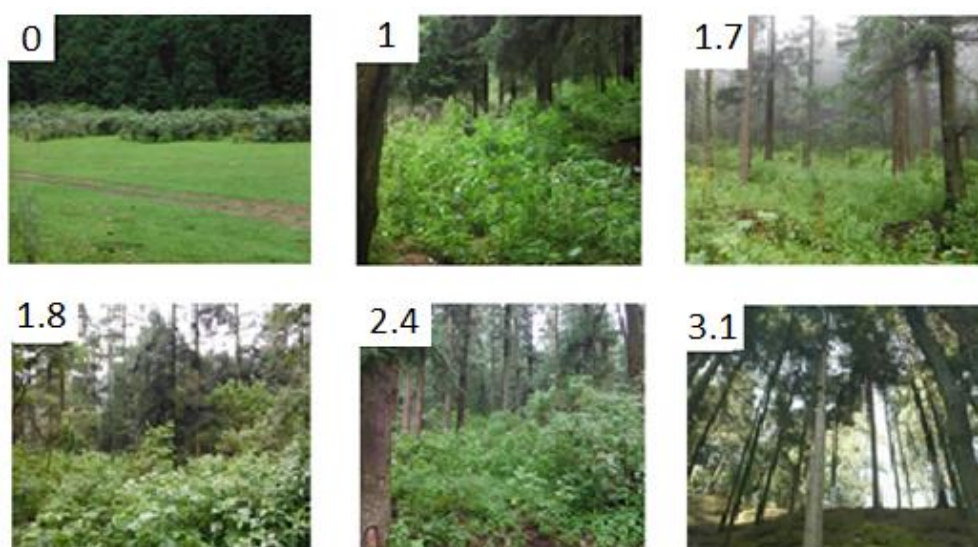


Figura 6. Fotografías de los seis sitios con área basal (m²) distinta, en donde es apreciable la cobertura arbórea de cada uno de éstos (Martínez-Rodríguez, 2013).

En cada uno de estos lugares se trazó un cuadro de 25 x 25 m, marcando una diagonal en su interior, que sirvió como referencia para ubicar tres puntos; el primero se situó en el punto medio de dicha diagonal, mientras los otros dos puntos se ubicaron a 10 m de distancia de éste. En cada uno de estos puntos se usó el protocolo de monolito de suelo TSBF (Anderson e Ingram, 1993), cuyas dimensiones son de 25 x 25 cm en la base por 30 cm de altura (Fig. 7), este monolito fue dividido en tres estratos con respecto a la profundidad, es decir, se obtuvo una capa que iba de los 0 a 10 cm, la segunda de 10 a 20 cm y la más profunda de 20 a 30 cm.

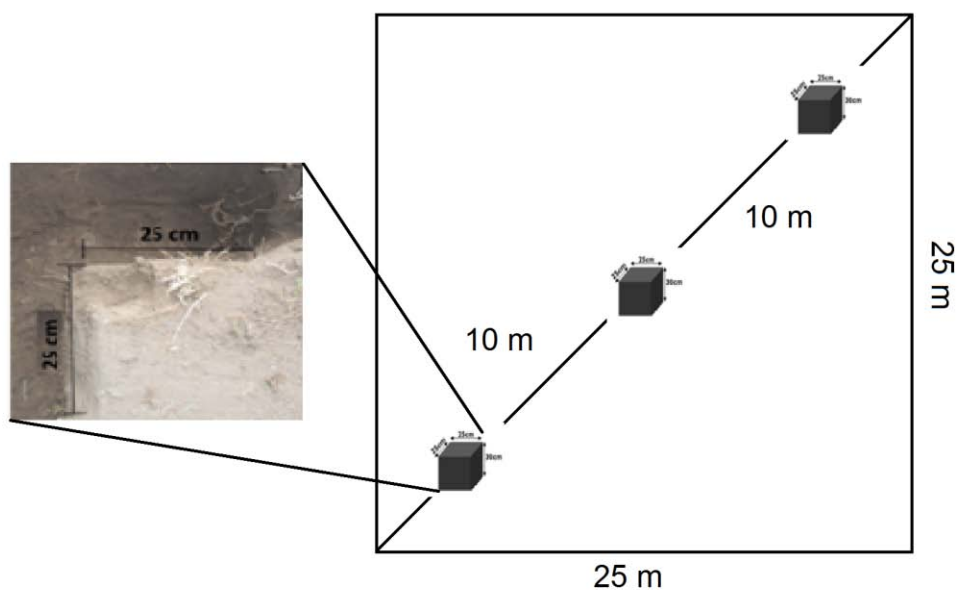


Figura 7. Esquema que muestra la posición de los tres monolitos en el cuadro ubicado en cada uno de los sitios.

Por tanto, al ser tres puntos en cada sitio, y al ser dos temporadas, se obtuvieron un total de 36 monolitos.

La extracción de la macrofauna fue llevada a cabo en el sitio de recolecta y de forma manual, el suelo de cada capa fue colocado en charolas; para su preservación, las lombrices fueron colocadas en frascos con una solución de formol al 4 % (v/v), mientras que los demás organismos (macroartrópodos) fueron colocados en alcohol al 70 % (v/v); cada uno de estos frascos fueron previamente etiquetados con los siguientes datos: profundidad, número de monolito y sitio (Fig. 8).



Figura 8. En la parte izquierda superior se observan los frascos en donde fueron inmediatamente depositados los organismos después de su extracción del suelo, a un lado se ubican los frascos de menor medida en donde fueron puestos para su identificación. El trabajo de separación se realizó con la ayuda de pinceles y una caja de Petri mostrados en la parte inferior de la imagen.

En el laboratorio de Ecología del Suelo de la Facultad de Ciencias de la UNAM, los organismos fueron limpiados y aislados en frascos más pequeños, para su determinación a nivel de Familia, la cual se llevó a cabo gracias a la asesoría del personal del Instituto de Biología de la UNAM. Una vez determinados, se cuantificaron y pesaron los individuos que integraron a cada uno de los taxones encontrados. En el Laboratorio de Microcine de la Facultad de Ciencias se realizó la toma de fotomicrografías de los individuos encontrados, para esto se usó una cámara digital Canon Eos Rebel T3i de 18 megapixeles adaptada a un microscopio estereoscópico de la marca Zeiss, modelo Stem SV6. Estas fotomicrografías servirán para la elaboración de un catálogo de las especies que habitan la zona estudiada.

7.1 Análisis de datos

Los datos de las variables riqueza taxonómica y abundancia de ambas temporadas fueron normalizados con base a la fórmula: $(x+0.5)^{1/2}$; para posteriormente poder ser analizados a través de una prueba de ANDeVA, para

determinar si existían diferencias significativas entre los distintos sitios, así como entre los distintos niveles de profundidad del suelo; en tanto que a la variable biomasa se le aplicó una prueba de Kruskal-Wallis debido a que los datos no presentaron una distribución normal. Cuando se encontraban diferencias significativas en el ANDeVA, se aplicó la prueba de Tukey para la comparación múltiple de medias, para observar qué sitios y qué profundidades eran significativamente diferentes. Todas las pruebas anteriores fueron realizadas a través del software STATISTICA 8.0 (StatSoft, 2007).

Para determinar si existían diferencias significativas entre las temporadas de lluvias y sequía, se les aplicó una prueba de t (Zar, 1999) a los datos de cada una de las variables.

Con los datos de riqueza y abundancia de cada sitio se obtuvo el Índice de diversidad de Shannon-Wiener, para cada uno de los sitios en cada una de las temporadas. Para observar si existían diferencias significativas entre los índices de diversidad de cada temporada se realizó una prueba de t (Zar, 1999).

Para determinar la similitud en la composición que presentaba cada sitio fue usado el índice de Sørensen ($I_s = 2C/A+B$).

8. RESULTADOS

8.1 Abundancia, riqueza taxonómica y biomasa.

La suma de individuos de ambas temporadas dio un total de 2905 organismos, distribuidos en 35 familias pertenecientes a 13 ordenes (Tabla 4), de las cuales 17 familias fueron encontradas en ambas temporadas, 12 se encontraron en la temporada de sequía y seis fueron exclusivas de la época de lluvias. Sólo dos morfotipos fueron identificados hasta orden, esto debido a la falta de claves de organismos juveniles que permitan su exacta determinación, tales organismos fueron: pupas de Coleoptera y ninfas de Hemiptera. Posterior a esta

determinación se obtuvieron microfotografías de los organismos encontrados en la zona de estudio (Anexo 1).

Tabla 4. Familias encontradas en los seis sitios con diferente área basal estudiados.

| Phylum | Clase | Orden | Familia | Temporada | |
|----------------|-------------|-------------|------------------|------------------|------------------|
| Arthropoda | Arachnida | Aranae | Dictynidae | Sequía y lluvias | |
| | | | Linyphiidae | Sequía y lluvias | |
| | | | Tetragnathidae | Sequía | |
| | | | Agelenidae | Lluvias | |
| | | | Mimetidae | Lluvias | |
| | | | Nemesiidae | Lluvias | |
| | | | Lycosidae | Lluvias | |
| | | | Anyphaenidae | Sequía | |
| | | | Theridiidae | Sequía | |
| | | | Phalangodidae | Sequía | |
| | Insecta | Opilión | Trombidiformes | Phalangodidae | Sequía |
| | | | | Trombidiidae | Sequía |
| | | Coleoptera | Carabidae | Sequía y lluvias | |
| | | | Chrisomellidae | Sequía | |
| | | | Coccinellidae | Sequía | |
| | | | Curculionidae | Sequía y lluvias | |
| | | | Scarabaeidae | Sequía y lluvias | |
| | | | Staphylinidae | Sequía y lluvias | |
| | | | Tenebrionidae | Sequía y lluvias | |
| | | | Zopheridae | Sequía | |
| | | | Diptera | Muscidae | Sequía y lluvias |
| | | | | Tipulidae | Sequía y lluvias |
| | | | | Mydidae | Sequía |
| | | | Hemiptera | Cydnidae | Sequía y lluvias |
| | | | | Enicocephalidae | Sequía |
| | | | | Cicadellidae | Sequía |
| | | Lygidae | | Sequía y lluvias | |
| | | Homoptera | Aphididae | Sequía y lluvias | |
| | | | Hymenoptera | Formicidae | Sequía |
| | | Apidae | | Sequía | |
| | | Lepidoptera | Arctidae | Lluvias | |
| | | | Chilopoda | Geophilomorpha | Geophilidae |
| Lithobiomorpha | Lithobiidae | Lluvias | | | |
| Diplura | Diplura | Japygidae | Sequía y lluvias | | |
| | Annelida | Clitellata | Haplatoxida | Lumbricidae | Sequía y lluvias |
| Enchytraeidae | | | Sequía y lluvias | | |

En la temporada de sequía se contabilizaron 572 individuos, en la de lluvias se encontraron 2233 organismos. La biomasa fue mayor en la temporada lluvias, con 79.82 g, y de 42.3 g para la temporada de sequía. La riqueza taxonómica en la temporada de sequía alcanzó un valor más alto con respecto a la de lluvias, con un total de 28 y 22 familias respectivamente (Fig. 9).

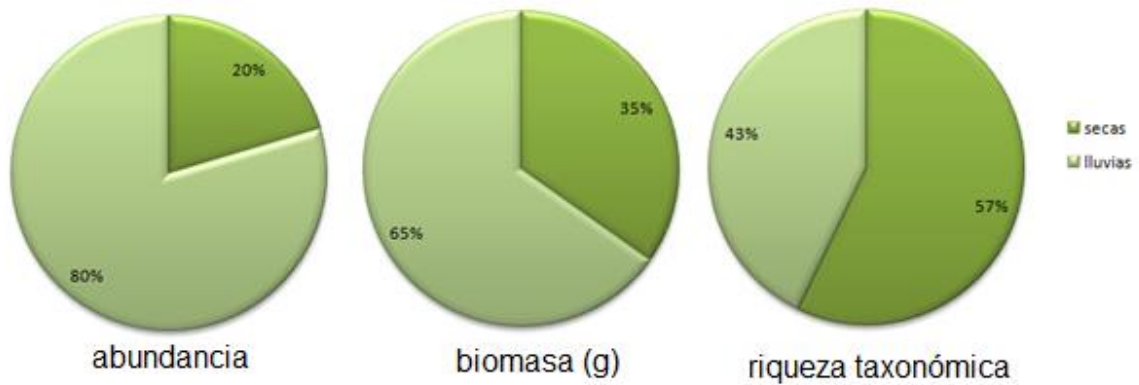


Figura 9. Se muestra la proporción de cada una de las variables de acuerdo a la temporada en la cual se realizaron las colectas de la macrofauna.

En la temporada de sequía, las familias con una mayor abundancia fueron: Lumbricidae, Enchytraeidae, Geophilidae y Curculionidae; las familias en donde se encontraron menos del 5 % de individuos se les categorizó como otros, como por ejemplo: Anyphaenidae, Apidae, Chrisomellidae, Mydidae, Phalangodidae, Formicidae, Lygidae, Tetragnathidae, Theridiidae, Trombidiidae, Carabidae, Scarabaeidae y Zopheridae (Fig. 10). De la biomasa total, las lombrices son las que aportan un mayor peso, en tanto las familias Enchytraeidae, Geophilidae y Curculionidae aportan un mínimo de biomasa a pesar de ser muy abundantes.

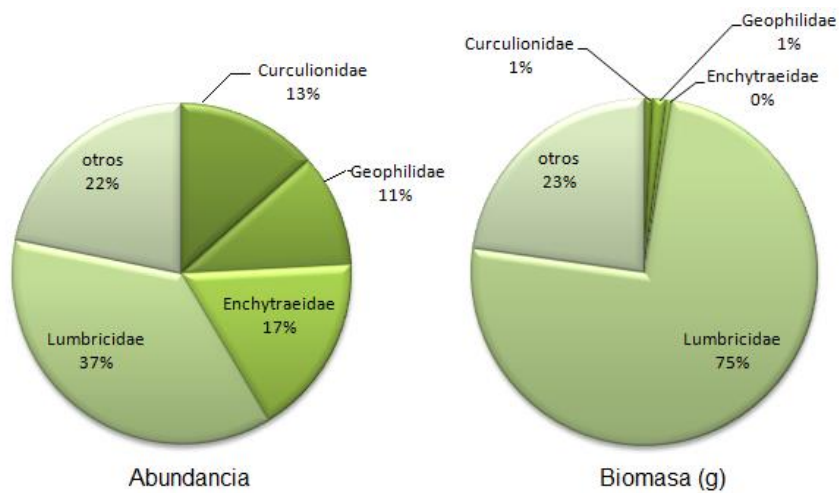


Figura 10. En la temporada de sequía la familia Lumbricidae fue la que presentó la mayor abundancia (202 ind) y biomasa (31.6 g), seguido por la familia Enchytraeidae en lo que a abundancia se refiere (95 individuos) pero no así en peso (0.214 g).

En la temporada de lluvias, las poblaciones más ricas fueron las pertenecientes a las familias Enchytraeidae, Lumbricidae, Curculionidae y Scarabaeidae. También en esta temporada hubo grupos con menos del 5%, en esta categoría tenemos a las familias: Agelinidae, Arctidae, Cydnidae, Dyctinidae, Enicocephalidae, Japygidae, Linyphiidae, Carabidae, Tipulidae, Geophilidae, Lithobiidae, Lycosidae, Lygaeidae, Mimetidae, Mydidae, Nemesidae y Tenebrionidae (Fig. 11).

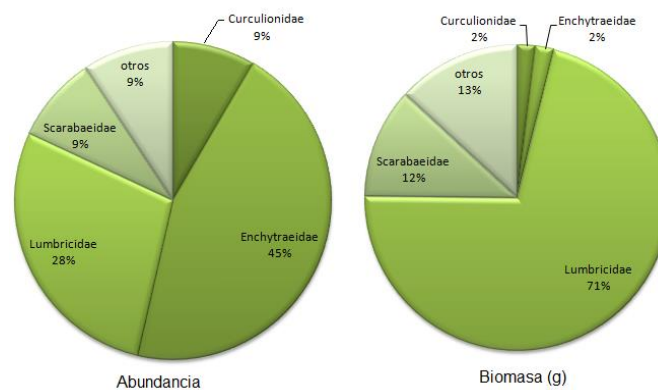


Figura 11. En la temporada de lluvias, la familia Enchytraeidae presentó 1007 individuos, convirtiéndolo en el grupo dominante pero no así en la biomasa (1.57 g), seguido de las lombrices de tierra con 633 elementos y que además presentaron la mayor biomasa (56.83 g).

En ambas temporadas existieron familias que mantuvieron su presencia, así como una dominancia en cuanto a abundancia, sin embargo, hubo diferencias en el aumento o reducción de sus poblaciones, en la figura 12 se pueden observar estos cambios, en donde, la temporada de lluvias presenta siempre (a excepción de la familia Geophilidae) un aumento considerable en las poblaciones de estos organismos. El cambio en la biomasa también se ve notablemente disminuido en la época de sequía para estas mismas familias.

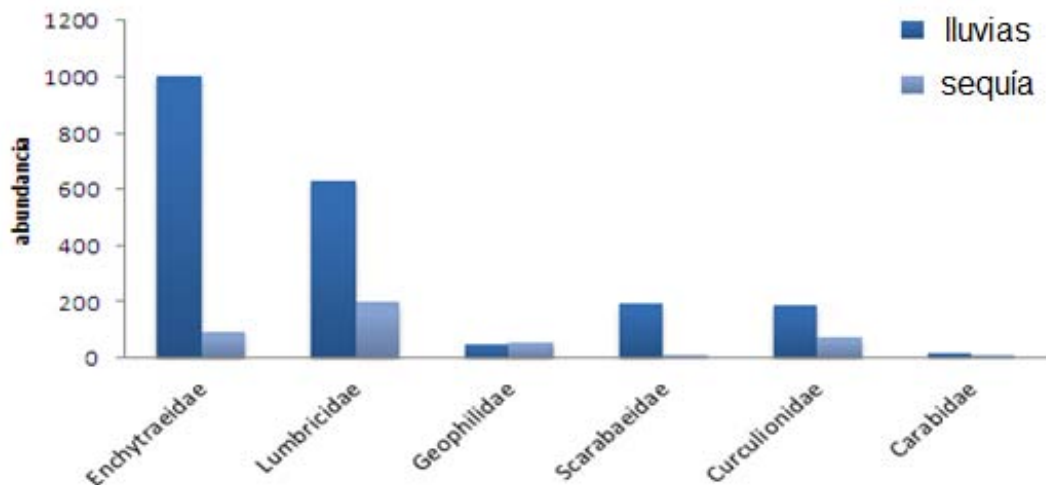


Figura 12. Principales grupos presentes en ambas temporadas, siendo las familias Enchytraeidae y Scarabaeidae las más susceptibles a estos cambios de estacionalidad.

8.2 Sitios

Abundancia

No se encontraron diferencias significativas en la abundancia de los organismos entre los sitios en la época de lluvias ($F_{5,12}=1.49$; $p>0.05$), sin embargo la distribución de la abundancia entre los sitios fue muy variable, en donde el sitio con la mayor cobertura arbórea tuvo un promedio de 300 individuos siendo aproximadamente tres veces mayor que los sitios restantes. En la época de sequía tampoco se encontraron diferencias significativas ($F_{5,12}=1.83$ $p>0.05$), pero en este caso la abundancia entre los sitios se presenta

de manera más homogénea, manteniendo un promedio por debajo de los 100 individuos. Por último, sí se encontraron diferencias significativas para la variable abundancia entre temporadas ($t_{0.05,10}=2.43$; $p<0.05$) (Fig. 13).

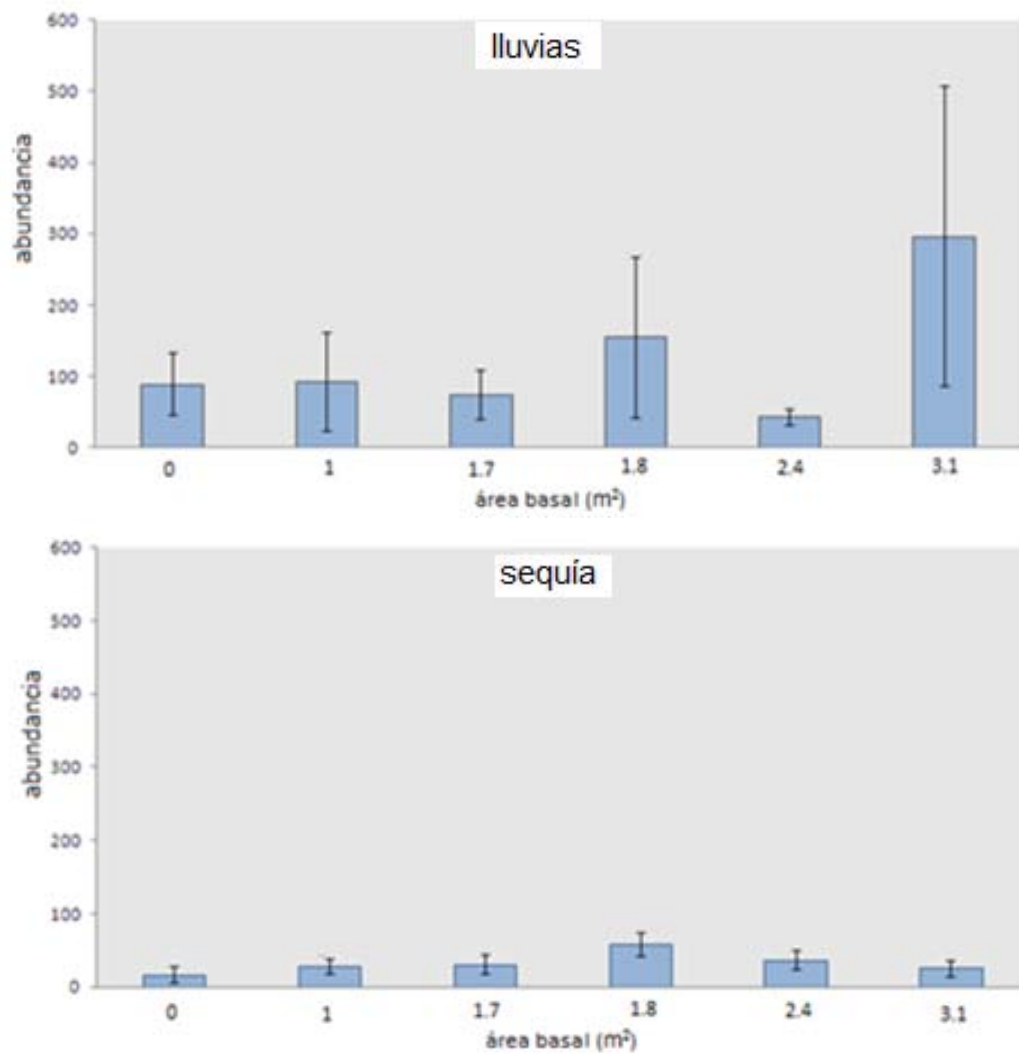


Figura 13. Abundancia de la macrofauna ($x \pm e.e.$) en cada uno de los sitios por temporada.

Riqueza taxonómica

La riqueza taxonómica en lluvias los tres primeros sitios con menor área basal fueron significativamente diferentes con el sitio de mayor área basal ($F_{5,12}=2.71$; $p<0.05$), los dos sitios restantes no mantuvieron diferencias con los anteriores.

En la temporada de sequía ($F_{5,12}=3.21$; $p<0.05$) se observó que el sitio con una área basal baja (1 m^2) fue significativamente diferente de todos los demás sitios (Fig. 14). En la comparación entre temporadas ($t_{0.05,10}=1.02$; $p>0.05$), no existen diferencias significativas para esta variable con respecto a la época de muestreo.

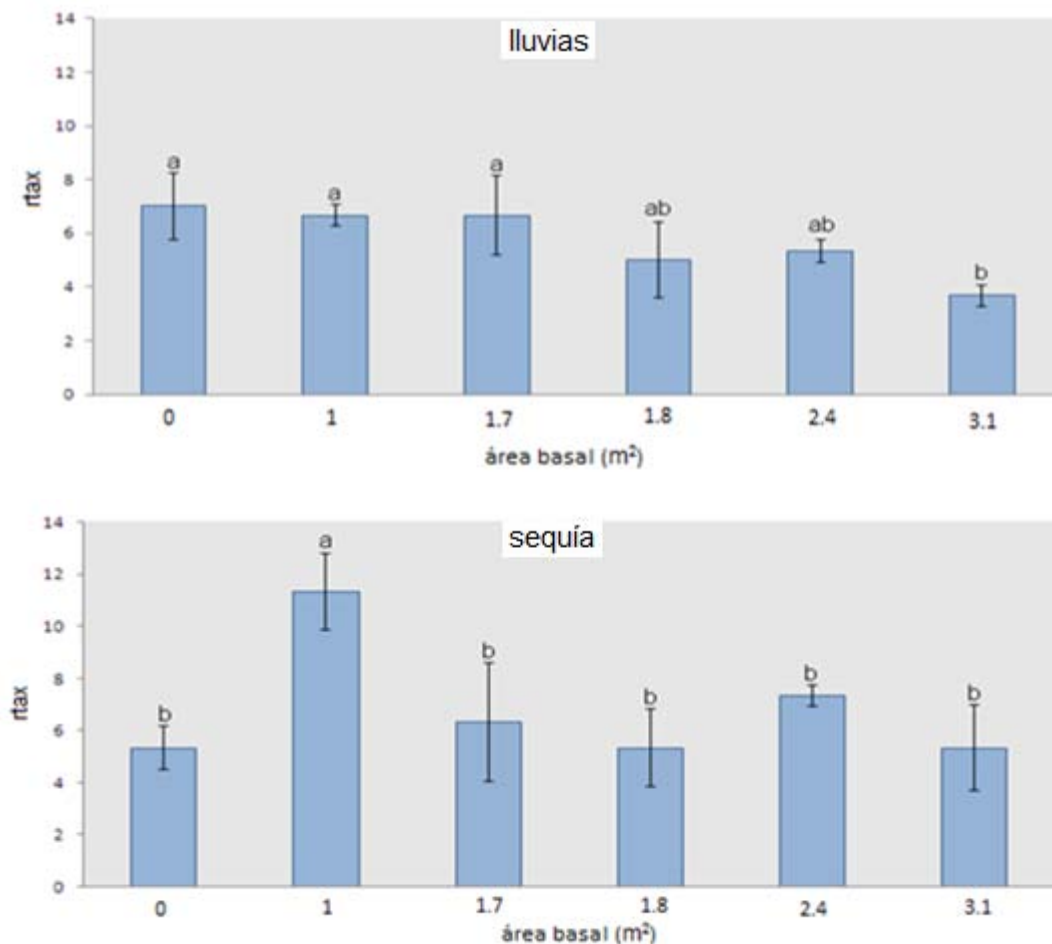


Figura 14. La riqueza taxonómica ($\bar{x} \pm \text{e.e.}$) en el sitio con un área basal baja (1 m^2), permaneció con diferencias significativas en ambas temporadas con respecto al de mayor área basal (3.1 m^2).

Biomasa

En el caso de la biomasa, en la temporada de lluvias ($F_{5,12}=0.51$; $p>0.05$) no se presentaron diferencias significativas entre los sitios muestreados.

En la temporada de sequía no existió una variación significativa entre cada uno de los sitios ($F_{5,12}=1.05$; $p>0.05$)

Sin embargo, sí se presentaron diferencias significativas en la biomasa ($t_{0.05,10}=3.03$; $p<0.05$) al ser comparadas ambas temporadas (Fig.15).

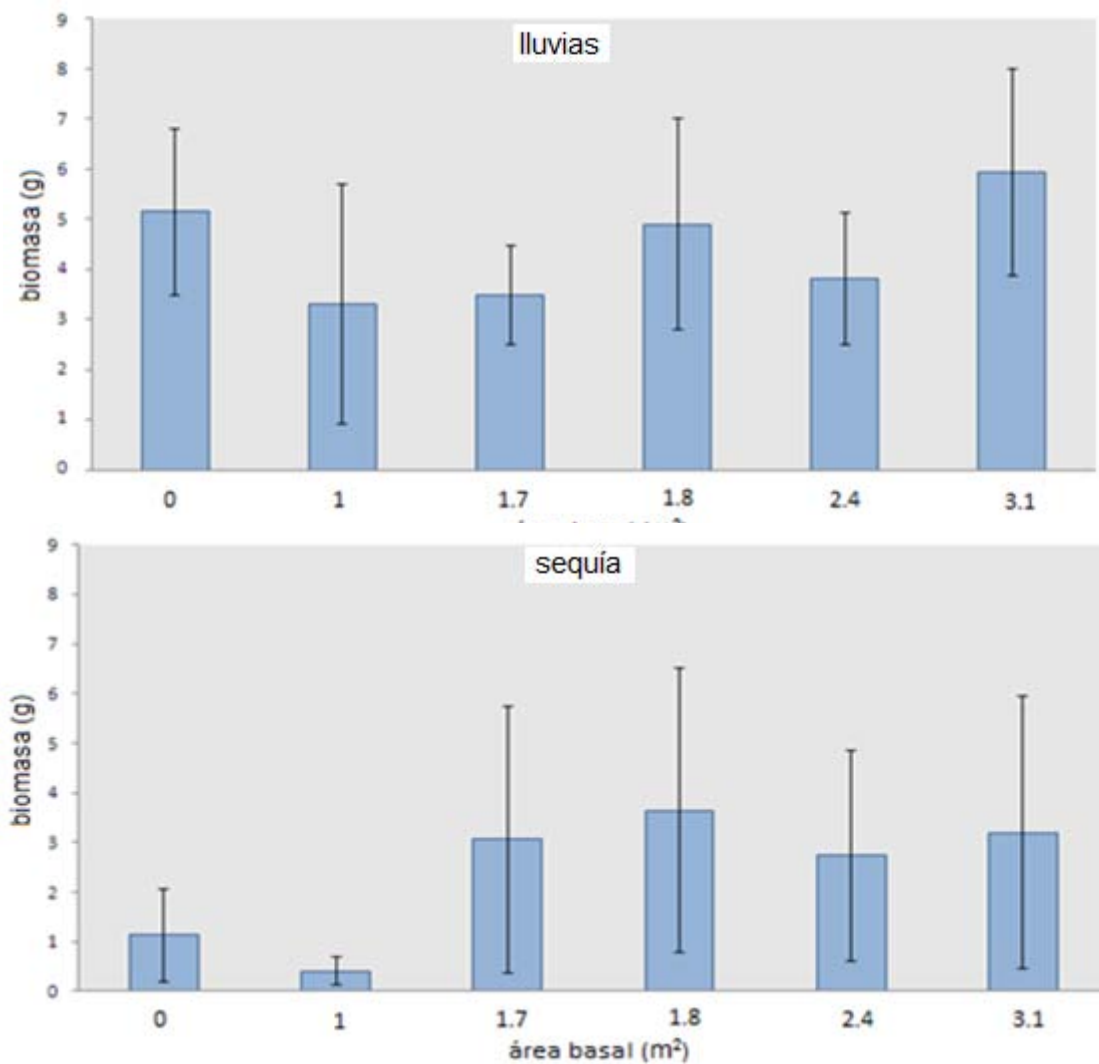


Figura 15. La biomasa ($x \pm e.e.$), medida en gramos, no presentó diferencias entre los diferentes sitios, no así, al ser comparadas por temporadas.

8.3 Profundidad

Abundancia

En la época de lluvias se observó que la primer capa del monolito (0-10) presentó diferencias significativas con las otras dos capas ($F_{2, 51}=30.09$; $p<0.05$) pero éstas últimas no guardaron una variación significativa entre sí.

La abundancia en temporada de sequía del primer nivel del monolito presento diferencias significativas ($F_{2, 51}=11.81$; $p<0.05$) con respecto a los otros dos niveles, en tanto que éstos no fueron diferentes entre sí (Fig. 16). La abundancia fue mayor en los primeros 10 cm de suelo muestreado, con respecto a las temporadas, esta variable se incrementa alrededor de cinco veces más en la temporada de lluvias.

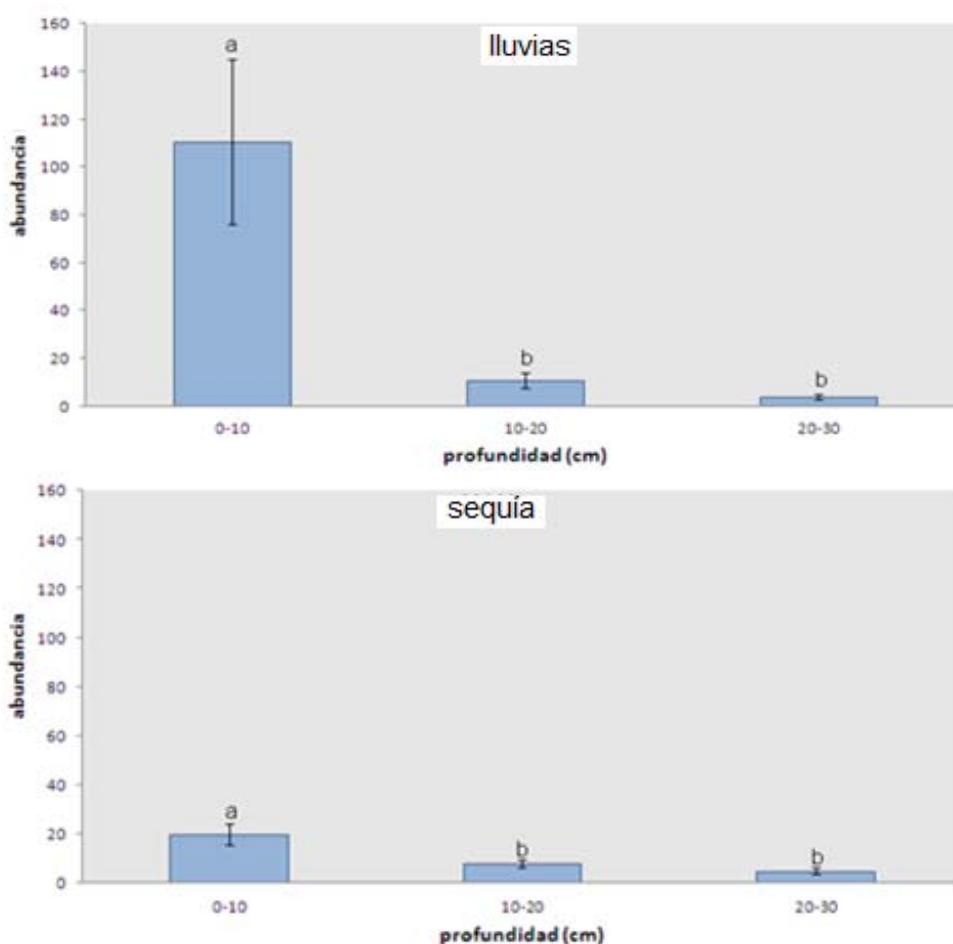


Figura 16. Graficas que representan la abundancia ($x \pm e.e.$) en los tres niveles del monolito, en ambas temporadas de muestreo.

El primer estrato del monolito (0-10 cm) se observó que la estacionalidad marca diferencias significativas ($t_{0.05,10} = 2,37$; $p < 0.05$), siendo la temporada de lluvias la que presentó una mayor abundancia. Para el segundo estrato ($t_{0.05,10} = 0.9$; $p > 0.05$) no se observaron diferencias significativas, así como en el tercer nivel del monolito ($t_{0.05,10} = -0.89$; $p > 0.05$).

Riqueza taxonómica

En la época de lluvias, los tres estratos mantuvieron diferencias significativas entre sí ($F_{2, 51} = 24.99$; $p < 0.05$). Siendo el primer nivel del monolito el que contó con una mayor riqueza taxonómica.

La riqueza taxonómica en la época de sequía estuvo marcada con una variación significativa ($F_{2, 51} = 7.45$; $p < 0.05$) entre el primer estrato y los de mayor profundidad; estos últimos no mantuvieron diferencias significativas entre sí.

En ninguno de los estratos del monolito se presentaron diferencias significativas ($t_{0.05,10} = 0$; $p > 0.05$; $t_{0.05,10} = -1.57$; $p > 0.05$; $t_{0.05,10} = -1.83$; $p > 0.05$) al ser comparadas las temporadas de recolecta (Fig. 17).

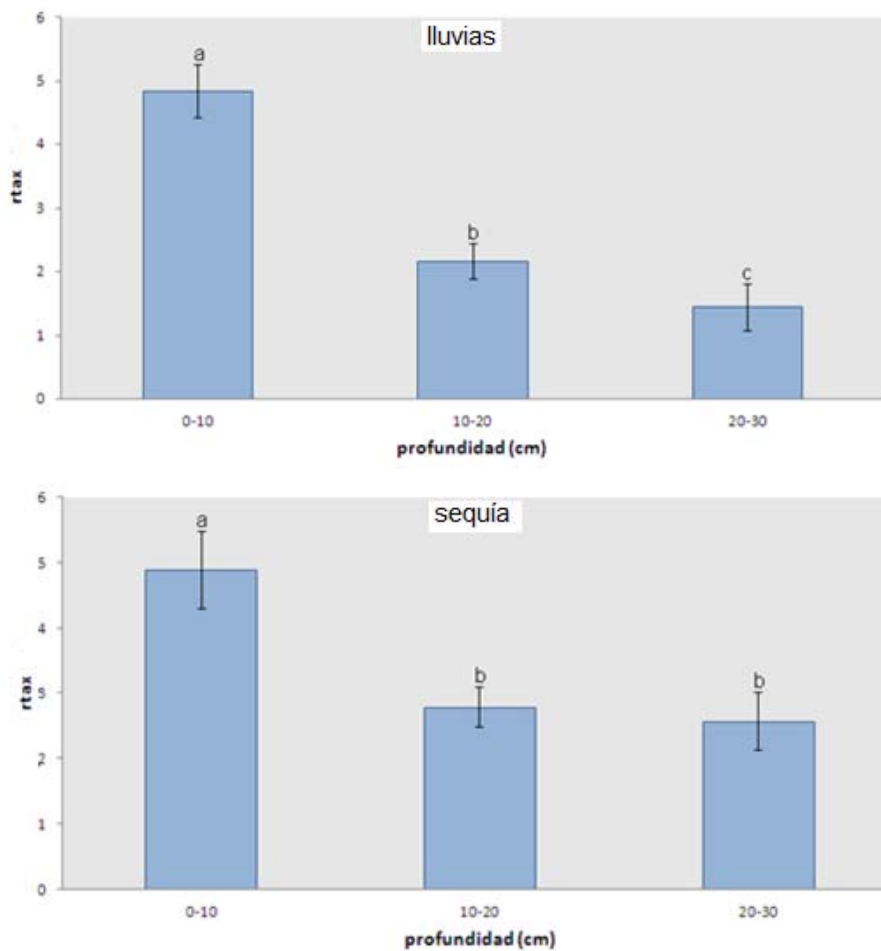


Figura 17. En ambas épocas, el mayor riqueza taxonómica ($x \pm e.e.$) se presentó en la primera capa del monolito.

Biomasa

En la temporada de lluvias la biomasa de los organismos varió significativamente entre el primer nivel del monolito y los dos más ($F_{2, 51}=36.94$; $p<0.05$), en donde este primer nivel presentó el mayor biomasa (Fig. 18).

En la temporada de sequía se encontraron diferencias significativas ($F_{2, 51}=4.61$; $p<0.05$) entre la primer capa (0-10 cm) y el tercer nivel (20-30 cm). La capa intermedia no mostró diferencias con las otras capas.

La biomasa en la primera capa del monolito varió significativamente entre las temporadas ($t_{0.05,10}=4.16$; $p<0.05$), para el segundo ($t_{0.05,10}=-0.92$; $p>0.05$) y tercer nivel ($t_{0.05,10}=-1.08$; $p>0.05$) no se encontraron diferencias significativas con respecto a la temporada de colecta.

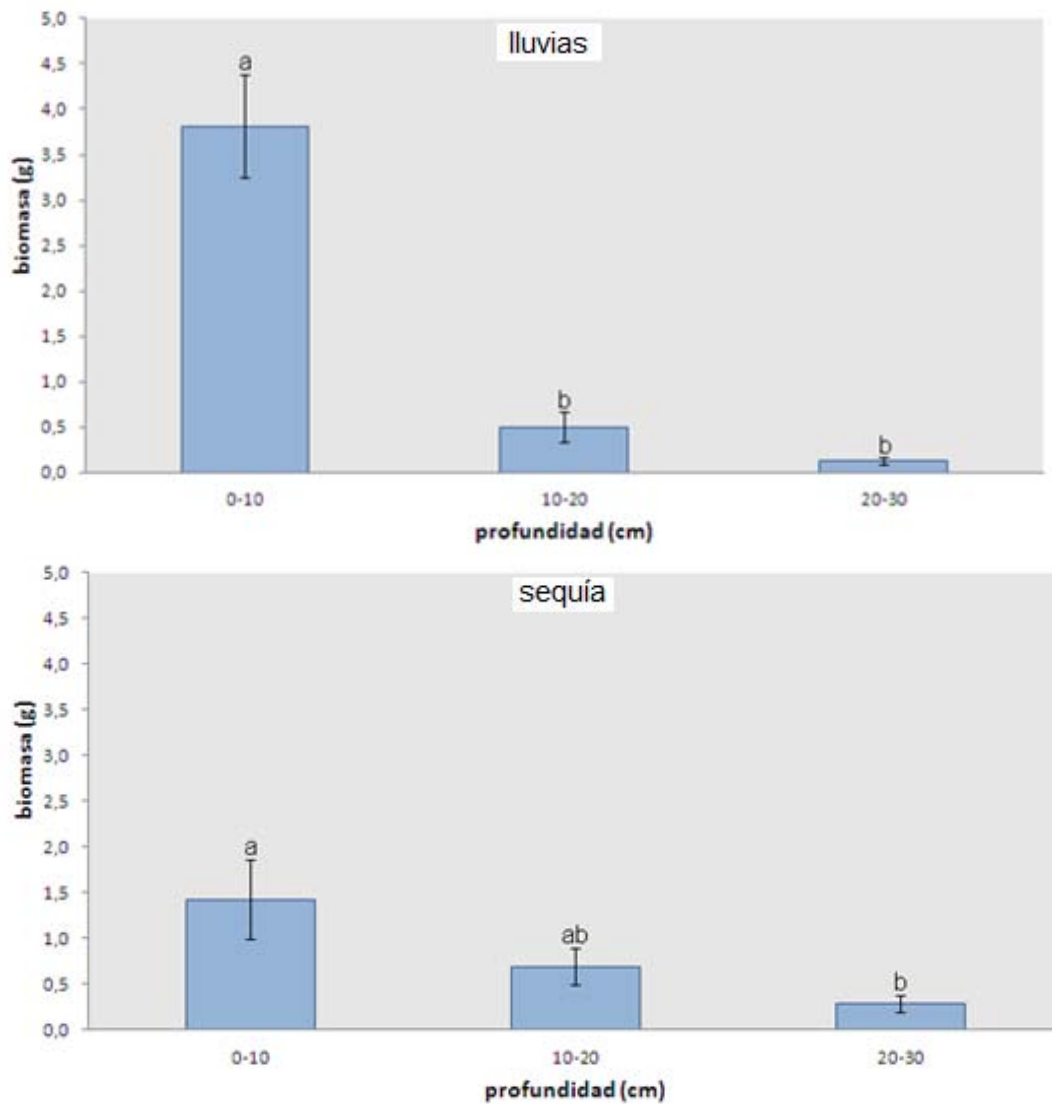


Figura 18. Se muestra la biomasa ($\bar{x} \pm e.e.$) de los organismos encontrados a distintas profundidades. La biomasa se vio redujo en la época de sequía.

8.4 Diversidad

Índice de Shannon-Wiener

En la temporada de lluvias los índices de diversidad (H') obtenidos por sitio fueron comparados entre sí, con el fin de observar si existían diferencias significativas entre éstos; resultado de esta comparación se encontró un patrón en donde los sitios con una mayor área basal (1.7; 1.8; 2.4 y 3.1 m²), son muy similares en su diversidad sin importar la época en la que se realizó el

muestreo (lluvias y sequía); los sitios restantes se mantuvieron con diferencias significativas a lo largo de ambas temporadas (Tabla 5).

Los casos fuera de este patrón observado fueron: el sitio 1 con el de 0 m² en la temporada de sequía, mientras que en la temporada de lluvias el sitio 0 con el de 1.7 m², no presentaron diferencias significativas en su diversidad.

Tabla 5: En gris se muestra la comparación del índice de Shannon de cada uno de los sitios para la temporada de sequía; los valores sin sombreado, refieren la misma comparación pero de la época de lluvias. Las líneas denotan los sitios que no mantuvieron diferencias significativas entre sí

| H' | 0 | 1 | 1.7 | 1.8 | 2.4 | 3.1 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | | | p<0.05 | p<0.05 | p<0.05 | p<0.05 |
| 1 | p<0.05 | | p<0.05 | p<0.05 | p<0.05 | p<0.05 |
| 1.7 | | p<0.05 | | p<0.05 | | p<0.05 |
| 1.8 | p<0.05 | p<0.05 | p<0.05 | | p<0.05 | |
| 2.4 | p<0.05 | p<0.05 | | p<0.05 | | |
| 3.1 | p<0.05 | p<0.05 | p<0.05 | | | |

La diversidad (H') en la temporada de sequía alcanzó su valor más alto en los sitios con una cobertura arbórea menor (0 y 1 m²), siendo el sitio con cobertura de 1.8 m² el que contó con el valor más bajo seguido del que posee la mayor área basal de 3.1 m². Para la temporada de lluvias los valores de H' se vieron ligeramente disminuidos, pero el patrón en cuanto valores máximos y mínimos, se mantuvo igual que en sequía.

Posteriormente el índice de cada sitio fue comparado entre temporadas, en la tabla 6 se muestran en rojo aquellos que mantuvieron diferencias significativas.

Tabla 6. Índice de Shannon para la época de lluvias y sequía de cada uno de los sitios (área basal en m²).

| Área basal | H _{sequía} | H _{lluvias} | P |
|------------|---------------------|----------------------|-------|
| 0 | 2.091 | 1.916 | >0.05 |
| 1 | 2.713 | 1.827 | <0.05 |
| 1.7 | 1.853 | 1.5 | <0.05 |
| 1.8 | 1.211 | 0.843 | <0.05 |
| 2.4 | 1.614 | 1.367 | >0.05 |
| 3.1 | 1.39 | 0.865 | <0.05 |

Índice de Sørensen

La similitud que presenta la composición de cada sitio fue analizado a través del índice de Sørensen (Tabla 7), los valores de las comparaciones de ambas temporadas fueron en la mayoría de los casos mayor a 0.5, lo que nos refleja que la composición es muy similar entre cada uno de los sitios. En este análisis hubo cuatro comparaciones que presentaron una similitud de composición por debajo del 50 %; en la temporada de lluvias, el sitio sin cobertura arbórea mantuvo un valor del 0.4, al ser comparado con los sitios de 1.7 m² y 3.1 m², mientras que en sequía el sitio de 1.7 m² mantuvo poca similitud con el sitio de 1 m², por último, el índice más bajo fue el que mantiene el sitio de 1.8 m² con el sitio de área basal cero, que fue de 0.3.

Tabla 7: Índice de Sørensen, en gris se muestran los valores de la temporada de sequía y en blanco los de la época de lluvias.

| Área basal | 0 m ² | 1 m ² | 1.7 m ² | 1.8 m ² | 2.4 m ² | 3.1 m ² |
|--------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0 m ² | | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.5 | 0.4 |
| 1 m ² | 0.5 | | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.5 |
| 1.7 m ² | 0.5 | 0.4 | | 0.6 | 0.7 | 0.6 |
| 1.8 m ² | 0.3 | 0.5 | 0.5 | | 0.7 | 0.5 |
| 2.4 m ² | 0.7 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | | 0.7 |
| 3.1 m ² | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.5 | |

8.5 Bioindicadores

En este apartado solo se comparan a las familias Scarabaeidae, Curculionidae, Lumbricidae y Geophilidae. Las dos primeras son indicadores de perturbación en el suelo causados principalmente por el cambio de uso de éste; mientras que las dos últimas nos indican sí existe una buena salud en el suelo (Linden *et al.*, 1994; Hendrix, 1995).

Scarabaeidae y Curculionidae

En la figura 19 se observa la abundancia total de las familias Scarabaeidae y Curculionidae, en cada uno de los sitios, y se encontraron diferencias significativas en la abundancia entre sitios para las dos familias ($X^2_{0.05, 5}=149.4$; $p < 0.05$ y $X^2_{0.05, 5}=94.9$, $p < 0.05$, respectivamente). Ambas familias son más abundantes en los tres sitios donde la cobertura arbórea es menor, para la familia Scarabaeidae se encontraron un total de 184 individuos en estos sitios ya mencionados y un total de 27 individuos recolectados en los sitios restantes, siendo casi seis veces más la abundancia presente en sitios donde existe un cambio de uso de suelo. Para la familia Curculionidae el patrón es el mismo, ya que en los sitios perturbados se concentra un total de 202 individuos, mientras que en los tres sitios visiblemente más conservados sólo se presentaron 61 individuos.

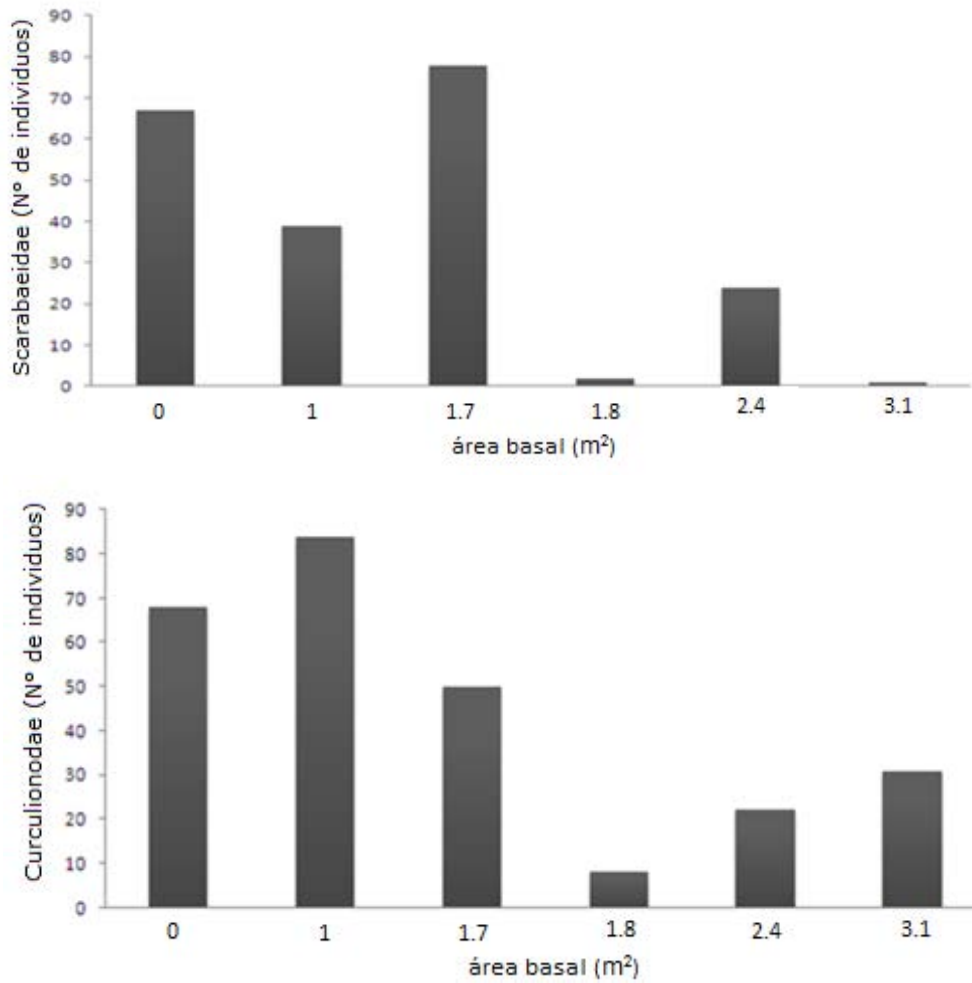


Figura 19. Se presentan el número total de individuos presentes en ambas temporadas de los sitios muestreados.

Lumbricidae y Geophilidae

El valor de la ji-cuadrada en el caso de las lombrices encontradas en cada sitio fue de $X^2_{0.05, 5}=439.3$; $p<0.05$, en tanto para la familia Geophilidae fue de $X^2_{0.05, 5}=65.2$; $p<0.05$, (Fig. 20); para todas estas familias hubo diferencias significativas al ser comparadas por sitios.

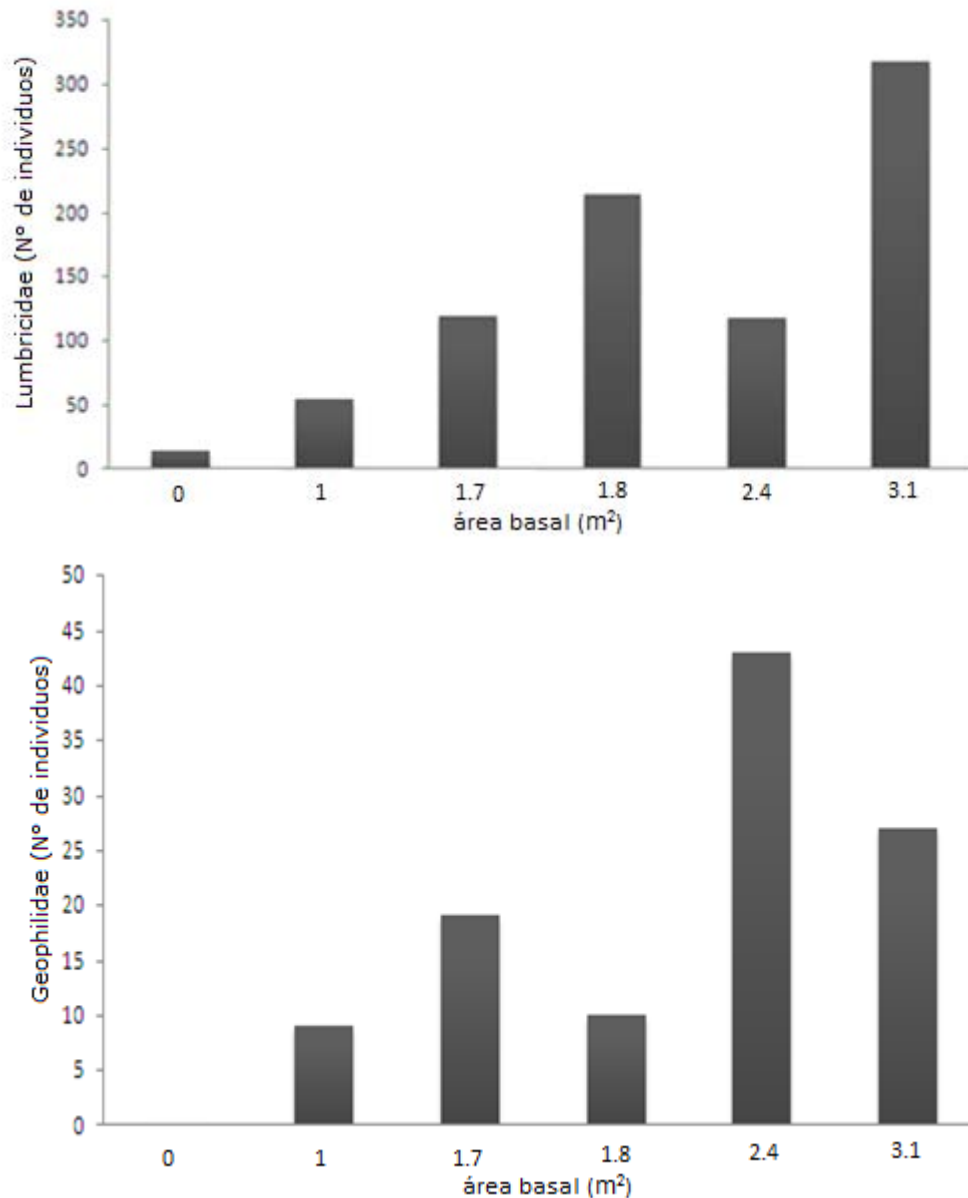


Figura 20. Número total de individuos de las familias indicadores de buena salud del suelo.

Al igual que en el caso de los bioindicadores de perturbación en el suelo estas familias mantienen un patrón en donde su abundancia es mayor en los tres sitios que poseen una cobertura arbórea mayor, en el caso de la familia Lumbricidae se contabilizaron un total de 648 individuos mientras que en los sitios con disturbio solo se encontraron 187 lombrices.

La familia Geophilidae también presentó una densidad mayor en los sitios mejor conservados, con 80 individuos, en tanto que los otros tres sitios con

perturbación sólo presentaron un total de 28 organismos, siendo casi tres veces menor el número de individuos en los sitios perturbados.

9. DISCUSIÓN

En este trabajo se tomaron en cuenta tres variables: abundancia, riqueza taxonómica y biomasa; la primer variable a discutir será la abundancia, la cual es de gran importancia en estudios ecológicos ya que nos permite inferir el éxito en el establecimiento y reproducción de una especie en un hábitat dado, y en particular las poblaciones presentes en el suelo son importantes por su papel en el ciclo de los nutrientes y más en específico en el proceso de descomposición de la materia orgánica muerta; además la abundancia también nos permite conocer y comparar la biodiversidad de un ecosistema con respecto a otro (Odum, 1972).

9.1 Abundancia

La abundancia total que se encontró en este estudio fue de 2905 individuos, lo cual al ser comparado con un estudio realizado en un bosque de *Abies* localizado en Francia (Auclerc *et al.*, 2012), allí los muestreos fueron realizados en un estrato arbóreo homogéneo dominado por esta conífera con una edad aproximada de 180 años y sin presencia de zonas con perturbación, a diferencia de este estudio, en el cual los sitios de muestreo presentaron un gradiente con respecto a la cobertura arbórea, resultado del cambio de uso de suelo en el área estudiada, sin embargo, en el estudio de Auclerc y colaboradores (2012) se encontraron un total de 2386 individuos, lo que nos permite inferir que a pesar de las perturbaciones presentes en el bosque de *Abies* de la CRM, no han sido un factor importante para la disminución de la abundancia de las especies que habitan en estos suelos. En tanto, el trabajo de Martínez-Hurtado llevado a cabo en la misma área del presente estudio, en donde las recolectas de los organismos fueron a distintas altitudes del bosque, en tal estudio se encontraron 1905 individuos; esta diferencia de abundancias puede implicar que la macrofauna edáfica está más estrechamente

relacionada con las distintas coberturas arbóreas que puedan presentarse en este bosque, más que con la altitud.

La abundancia en función a la temporada (lluvias y sequía) de muestreo fue claramente diferente, debido a que la mayoría de las familias encontradas parecen tener una dependencia con la humedad (Kavvadias *et al.*, 2001). La mayor abundancia se encontró en la temporada de lluvias, teniendo diferencias significativas entre las dos temporadas estudiadas, este patrón diferencial entre temporadas es el mismo que observaron García-Gómez (2009) y Ramírez-Gutiérrez (2008) en bosques templados de México, el trabajo de Baltazar-Ortega de 2011 realizado en la CRM demostró que las densidades de la macrofauna en bosques de *A. religiosa* y *P. hartwegii* se mantienen estables, no así en el bosque de *Quercus*, donde la abundancia se incrementa en la temporada de lluvias. En tanto, el trabajo de Martínez-Hurtado presentó resultados contrarios a los antes mencionados, es decir, encontró una mayor abundancia en la temporada de sequía, lo cual podría explicarse a que en sus sitios de muestreo la densidad de lombrices fue muy baja, ya que estos organismos son los más susceptibles a cambios de humedad en el sistema (Fragoso y Rojas, 2010).

9.2 Riqueza taxonómica

Los trabajos sobre la fauna del suelo que se tienen ponen especial énfasis en la mesofauna la cual como se citara a continuación es dominada principalmente por los taxones Acari y Collembola; por tanto los demás taxones son poco analizados, y no se les ha dado una importancia para la ecología de los ecosistemas.

García-Gómez (2009), encontró 14 órdenes, de los cuales el taxón Collembola al ser el más abundante es el que fue analizado a profundidad. Otros taxones que sí pertenecen a la macrofauna edáfica que registró el autor son: anélidos, arácnidos, isópodos, miriápodos, proturos, dipluros, tisanópteros, psocópteros, ortópteros, hemípteros, dípteros, coleópteros (adultos y larvas). Lo mismo pasa con el trabajo de Wiwatwitaya y Takeda del 2005, en donde también la abundancia es dominada por Acari y Collembola 75.4% y 16.1 5

respectivamente del total de artrópodos colectados, el resto está ocupado por los ordenes Hymenoptera (Formicidae) y Coleoptera.

En los trabajos realizados en la CRM, el de Baltazar-Ortega registro un total de 27 taxones para los tres tipos de bosque que dominan esta zona, en el bosque de *A. religiosa* contabilizo 20 taxones, de los cuales algunos organismos están determinados hasta nivel de orden y suborden, de éstos 8 órdenes, se comparten con este estudio: Haplotaxida, Aranae, Opilion, Hemiptera, Coleoptera, Diptera, Lepidoptera e Hymenoptera. En tanto, el trabajo de Martínez-Hurtado (2014) presento un grupo más a los encontrados por Baltazar-Ortega, que es el orden Diplura, el cual también fue reportado en este estudio. En este trabajo encontré nuevos grupos como por ejemplo: Lithobiomorpha, Geophilomorpha y Trombidiformes. Además en este trabajo la identificación de los organismos fue a nivel de familia, incluidas las larvas, las cuales, en los trabajos antes mencionados no fueron determinadas; esta nueva determinación a nivel de familia nos permite entender un poco más el papel de cada uno de los organismos encontrados en el suelo, como por ejemplo en el caso de las larvas, se encontró una abundancia importante de larvas de la familia Scarabaeidae y Curculionidae, las cuales suelen ser dañinas para las raíces de las plantas, por otro lado las larvas de las familias Staphylinidae y Carabidae son en su mayoría depredadoras de otros organismos del suelo (Coto, 1998), así, a pesar que todas estas familias pertenecen al mismo orden, Coleoptera, sus larvas poseen diferentes actividades e impactos sobre el suelo.

En el trabajo de Auclerc y colaboradores (2012) se registraron un total de 12 órdenes, de los cuales se desprendieron 101 taxones, la mayoría determinados hasta nivel de género y especie; los órdenes encontrados fueron: Clitellata, Aranae, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Lepidoptera, Geophilomorpha, Lithobiomorpha, Chordeumatida, Julida y Pulmonata. Este trabajo es quizás el que más se asemeja en resultados a este estudio, debido en parte por la técnica de muestreo (monolitos), los ordenes encontrados en la CRM fueron 13 y son: Aranae, Opilion, Trombidiformes, Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Homoptera, Hymenoptera, Leptidoptera, Geophilomorpha, Lithobiomorpha, Diplura y Haplotaxida. Como se puede observar existen siete órdenes que se

comparten, lo que nos permite entender que estos grupos son de distribución mundial y que son parte fundamental en la estructura que comprende a la macrofauna del suelo.

El trabajo de Villalobos y colaboradores (2000), realizado en una zona tropical, comparte con este estudio, los grupos Oligochaeta, Coleoptera (Tenebrionidae), Miriapoda, Isoptera, Hymenoptera, Hemiptera, Lepidoptera y Diptera. Otro trabajo realizado en un bosque mesófilo (De la Rosa y Negrete-Yankelevich, 2012) reportó la existencia de familias tales como: Formicidae, Enchytraeidae, Aranae, Coleoptera y Hemiptera. Como se ha observado en estos reportes sumado con lo encontrado en el presente estudio nos muestra que los órdenes Coleoptera, Aranae, Hemiptera, Hymenoptera, Haplatoxida y Diptera, poseen una gran capacidad de adaptarse a distintos climas, y a distintas zonas biogeográficas. Constituyendo así la base de la macrofauna edáfica de varios ecosistemas del planeta.

En cuanto a la riqueza taxonómica en función de las temporadas de muestreo, no se mostraron diferencias significativas. Este análisis no fue llevado a cabo en trabajos anteriores realizados en esta zona, sólo se puede mencionar que no se hallaron diferencias significativas para esta variable debido a que probablemente la humedad en el suelo no sea un factor fundamental que determine la distribución de las familias de organismos que se pueden hallar en este tipo de suelos (Wiwatwitaya y Takeda, 2005).

En cuanto a la profundidad, la mayor riqueza taxonómica se encontró en la primera capa del monolito (0-10 cm), esto debido a que la mayoría de los organismos encontrados llevan a cabo sus actividades en esta área (Lavelle y Kohlman, 1984; Villalobos y Lavelle, 1990), y esto es debido a que este nivel presenta las mejores condiciones para la sobrevivencia de todos ellos, como por ejemplo una mayor cantidad de MO necesaria para los ordenes Coleoptera (Carabidae) (Roig-Juñent y Domínguez, 2001), Aranae, Diptera, Lepidoptera e Hymenoptera (Villalobos, 2000), una mayor humedad que es esencial para individuos del orden Haplotoxida (Fragoso y Rojas, 2014) los cuales a su vez

mantienen una estrecha relación con el orden Geophilomorpha (Salamon *et al.*, 2008) ya que los primeros sirven de alimento para los segundos.

9.3 Biomasa

La biomasa (g) es una nueva variable que se midió, en comparación con los dos estudios anteriores sobre macrofauna del suelo en esta zona; los organismos que mayor biomasa aportan a los suelos del bosque de *Abies* de la CRM son los individuos de la familia Lumbricidae (lombrices de tierra), debido por su alta abundancia así como por el tamaño que presentan, el cual puede variar de 1 cm de largo y 2 mm (Fragoso y Rojas, 2014), el otro grupo que aporta una biomasa importante son los escarabajos de la familia Scarabaeidae. Collins (1980), también observó que la mayor biomasa era aportada por las lombrices de tierra, las cuales fueron encontradas en altitudes y características climáticas muy similares como en el presente estudio, estos resultados reflejan que las lombrices de tierra tienden a incrementar sus poblaciones en estos tipos de bosques, dadas sus condiciones climáticas.

Con respecto a las diferencias encontradas en función de la temporalidad, la biomasa se vio muy disminuida en la temporada de sequía (aproximadamente 50 %) en comparación con la de lluvias, esto puede deberse a que la biomasa mantiene una relación directamente proporcional con la abundancia, es decir, al aumentar la abundancia la biomasa también se incrementará, y más aún si estas poblaciones están compuestas por organismos tan dependientes a la humedad como las lombrices de tierra o los miriápodos.

9.4 Diversidad

Los índices más altos de diversidad se encontraron en los sitios que se caracterizaron por tener una cobertura arbórea baja o nula, así mismo De la Rosa y Negrete-Yankelevich (2012) recolectaron macrofauna de hojarasca y

suelo de un bosque maduro y un bosque secundario; sus resultados arrojaron que en el tipo de bosque maduro se presentó una mayor diversidad en la hojarasca, en tanto que para el bosque secundario sucedió lo contrario, el suelo fue el que presentó una diversidad más alta; esto puede explicarse debido a que los bosques maduros (en este trabajo son los sitios que cuentan con las aéreas basales más altas) presentan una composición vegetal diversa, lo que da como resultado una composición de hojarasca igual de diversa (Collins, 1980), lo que genera una alta diversidad de nichos que pueden ser ocupados por una gran variedad de invertebrados. Pero cuando se presenta una perturbación en la estructura arbórea, la hojarasca se homogeniza y por tanto, los nichos resultantes disminuyen, así como la diversidad y abundancia de la macrofauna (Trueba *et al.* 2005), lo que conlleva a que estos organismos busquen otro tipo de microhábitat, por ejemplo el suelo, donde puedan encontrar condiciones más propicias para su sobrevivencia; Por ello es muy posible que en este estudio donde se muestreo específicamente el suelo, se haya encontrado también este patrón.

Otra explicación es que al abrirse el dosel, factores tales como la temperatura, incidencia de luz solar y cantidad de materia orgánica se vean alterados, lo que puede afectar en el aumento o disminución de algunos taxones residentes de la hojarasca, y como resultado migran verticalmente hasta el suelo buscando las condiciones adecuadas o refugio para sobrevivir (Bezkorovainaya y Yashikhin, 2003; De la Rosa y Negrete-Yankelevich, 2012).

Esta diversidad también puede verse aumentada debido a que en los sitios con área basal baja se presentaban en el suelo muchas raíces de plantas (Paredes, en prep.) que son un buen alimento para varias familias de Hemiptera y Homoptera, además en estos sitios las poblaciones de miriápodos se ve disminuida, lo que podría generar el establecimiento de un mayor número de especies (Anexo 2).

Los sitios con mayor cobertura arbórea no presentaron diferencias significativas al compararse sus índices de biodiversidad (H').

El índice más alto de diversidad se observó en la temporada de sequía, esto puede deberse a los ciclos de vida, aunque generalmente se observa que los artrópodos se reproducen en verano (temporada de lluvias) (Martínez *et al.*, 2011), al parecer presentaron un desfase en su ciclo, ya que en la temporada de sequía se encontraron a individuos en estadios adultos.

Por último, la composición que presentan los sitios es muy similar, en donde los índices más altos se encontraron al comparar los lugares con la mayor cobertura arbórea, estas similitudes de composiciones que son en su mayoría mayores al 50 % pueden deberse a que existen condiciones muy parecidas en éstos, lo que permiten el establecimiento de organismos que poseen necesidades muy similares, como es el caso de las lombrices de tierra y los ciempiés, los cuales necesitan una mayor humedad que otros grupos, lo que los lleva a colonizar espacios que cumplan con esta característica.

9.5 Bioindicadores

Los sitios donde fueron recolectados los organismos mantenían diferencias en cuanto a la cobertura arbórea, esto es debido a que la zona ha sufrido cambios en el uso de suelo, por ejemplo en el sitio con área basal cero, existen evidencias de haber sido utilizado para siembra, el siguiente sitio con 1 m² de área basal es prácticamente dominado por pasto, los siguientes sitios poseen una mayor cobertura arbórea es decir, corresponden al clímax arbóreo de la zona, por lo cual podemos decir que están mejor conservados. Por tanto este trabajo propone relacionar esta cobertura arbórea con la abundancia y riqueza taxonómica presente en cada uno de estos sitios, y usarlos como indicadores de perturbación o de una buena salud del suelo.

Las familias Curculionidae y Scarabaeidae presentan la mayor abundancia en los sitios que poseen la menor área basal, los cuales se presentan principalmente en el estadio de larva. Estas familias han sido identificadas por Obando y colaboradores (2004) como habitantes de sitios perturbados, ya que son poco sensibles a la desecación y suelen ser perjudiciales para los cultivos, ya que se alimentan principalmente de las raíces de plantas (Coto-Alfaro,

1998). En estos sitios también se encontraron ejemplares del orden Hemiptera como por ejemplo a las familias Cydnidae, Cicadellidae, Lygidae y Aphididae, y del orden Homoptera a la familia Aphididae, las cuales son dañinas tanto para bosques conservados como para plantaciones, ya que se especializan en succionar la sabia así como inyectar toxinas o microorganismos patógenos que favorecen la infección de las plantas, causando un debilitamiento o incluso la muerte de éstas (Briceño y Hernández, 2008).

Los sitios con una cobertura arbórea alta (1.8; 3.4 y 3.1 m²) presentaron la mayor abundancia de las familias Lumbricidae y Geophilidae; las lombrices de tierra, son de vital importancia en la mayoría de los suelos del mundo, Stork y Eggleton (1992) realizaron un trabajo donde analizaron distintos grupos de macrofauna del suelo, y en dicho trabajo mencionan todos los beneficios que aportan las lombrices de tierra, como por ejemplo la formación de agregados, aireación del suelo, aumento de la cantidad de agua, etc., por ello son considerados ingenieros del ecosistema (Lavelle, 1994) y los principales indicadores de una buena salud del suelo (Linden *et al.*, 1994; Hendrix, 1995). En tanto, Scheu y Poser (1996), realizaron un trabajo en donde observaron las poblaciones de las lombrices de tierra y miriápodos, estos últimos se eligieron como indicadores de un buen estado del suelo debido a que son los principales depredadores, los cuales regulan las poblaciones de los demás organismos presentes en el suelo. Las poblaciones de miriápodos son generalmente directamente proporcionales a las de las lombrices de tierra (Salamon *et al.*, 2008).

En síntesis, la macrofauna edáfica va a ser afectada ya sea en su diversidad, abundancia y biomasa, por las características físicas de su entorno, las cuales pueden ser significativamente alteradas por la cobertura arbórea. Dentro de esta macrofauna existieron grupos taxonómicos (lombrices y ciempiés) que se caracterizaron por ser muy sensibles a los cambios de su medio, decreciendo sus poblaciones o incluso en la ausencia total en sitios con presencia de perturbación ocasionados por el cambio de uso de suelo. Así como estos grupos, también existieron otros organismos que se ven beneficiados por estos

disturbios, como es el caso de las familias Scarabaeidae y Curculionidae, así como varias familias del orden Hemiptera.

Estas capacidades de adaptación y sensibilidad que pueden presentar los diferentes grupos que integran la macrofauna, pueden abrir paso a un mayor uso de bioindicadores que permitan de una manera más sencilla determinar la existencia de disturbios o de una buena salud del suelo en este tipo de ecosistemas.

Sin embargo, un estudio donde se midan otras variables físicas del suelo (por ejemplo la humedad, temperatura, acidez, etc.) permitirá determinar con mayor precisión el estado de salud de los suelos de este tipo de ecosistemas.

Otro aspecto importante es el establecimiento de un patrón de estacionalidad, en donde la diversidad, biomasa y abundancia de la macrofauna del suelo aumenta significativamente en la temporada de lluvias, presentándose en esta época a organismos en su etapa juvenil, mientras que en la de sequía se presentan en su forma adulta.

10. CONCLUSIONES

- Los índices de diversidad y riqueza taxonómica más altos fueron encontrados en los sitios donde la cobertura arbórea fue menor, es decir, en lugares donde el bosque de *Abies religiosa* ha sufrido cambios en el uso de sus suelos.
- Se confirma que la abundancia, biomasa y riqueza taxonómica presentan los valores más altos en los primeros 10 cm de suelo muestreado.
- Los sitios (0, 1 y 1.7 m²) que tienen un cierto grado de perturbación (menor número de árboles de *Abies religiosa*) en el suelo presentaron las mayores poblaciones de larvas de escarabajos de las familias Curculionidae y Scarabaeidae (indicadores de perturbación), lo que confirma que sí existe una relación entre estos organismos y el estado de conservación del suelo.

En tanto que los sitios mejor conservados que son los que presentan un estrato arbóreo más homogéneo, están dominados por lombrices (Lumbricidae) y ciempiés (Geophilomorpha), los cuales están estrechamente relacionados en favorecer una buena salud del suelo e indican que son sitios bien conservados.

- El catálogo fotográfico de la macrofauna edáfica realizado permitirá de una forma más sencilla la identificación de los organismos presentes en el bosque de *Abies religiosa*.

11. REFERENCIAS

- Abaimov, A.P., S.G. Prokushkin y O. A. Zyryanov. 1996. *Ecological Phytocenotic Assessment of the Effect of Fires on Forests in the Permafrost Zone of Central Siberia*. Sibirskii Ekologicheskii Zh. **3** (1), 51.
- Aber, J.D. y J.M. Melillo. 1991. *Terrestrial ecosystems*. Saunders College Publishing, USA. 429 pp.
- Ali, A., G.H. Bhat, y M. Ali. 2012. *Epigeal and hypogeal macroinvertebrate diversity in different microhabitats of the Yusmarg Hill Resort (Kashimir, India)*. Ecologia Balkanica, Vol. 4, issue 1, June 2012, pp 21-30.
- Álvarez, K. 2000. *Geografía de la educación ambiental: algunas propuestas de trabajo en el Bosque de Los dinamos, Área de Conservación Ecológica de la Delegación Magdalena Contreras*. Tesis de licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 127 pp.
- Álvarez, S. 2005. *La descomposición de la materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano*. Ecosistemas 14 (2): 17-29.
- Alvear, M. 2007. *Actividades biológicas y estabilidad de agregados en un suelo del bosque templado chileno bajo dos etapas sucesionales y cambios estacionales*. J. Soil Sc. Plant Nutr. 7 (3) 2007 (38-50).
- Alvear, M., J.L. Rouanet y F. Borie. 2005. *Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile*. Soil and Tillage Research. 82: 195-202.

- Anderson, J. M. y J. S. I. Ingram (eds). 1989. *Tropical Soil Biology and Fertility: A handbook of Methods*, 1st edition, CAB International, Wallingford.
- Aranda, D.E. 1989. *Perspectivas de la utilización de lombrices en la transformación de la Pulpa de café en abono orgánico*. INMECAFE. Boletín técnico de café. 7. 7p.
- Aravena, C., M.C. Diez, F. Gallardo, M. L. Mora y C. Valentin. 2007. *Utilización de lodo de la industria de celulosa y su efecto sobre las propiedades físico-químicas en suelos volcánicos degradados*. Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal 7(1):1-1.
- Auclerc, A., J. Nahmani, D. Aran, V. Baldy, H. Callt, C. Gers, E. Lorio, Lapied, A. Lassauce, A. Pasquet, J. Spelda, J. P. Rossi y F. Guérol. 2012. *Changes in soil macroinvertebrate communities following liming of acidified forested catchments in the Vosges Mountains (North-eastern France)*. Ecological Engineering 42 (2012) 260– 269.
- André, H. M. X. Ducarme y P. Lebrun. 2002. Soil biodiversity: myth reality or coming?. Oikos 96:3-24.
- Bachelier, G. 1971. *La vie animale dans les sols. I. Determinisme de la faune des sols, In: La vie dans les sols, aspects nouveaux études expérimentales*, P. Pesson, (Ed.), 3-43, Gautithier Vuillars Editeur, Paris.
- Baltazar-Ortega, E.E. 2011. *Variación espacio-temporal de la meso y macrofauna del mantillo de la Cuenca Alta del Río Magdalena*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Barros, M. E., E. Blanchart, A. Neves, T. Desjardins, A. Chauuel y P. Lavelle. 1996. Relacao entre a macrofauna e agregagacao do solo em tres sistemas na Amazonia Central (In Portuguese). Solo suelo XII Congreso Latino America de Ciencia do solo, Aguas Lindoia. Brazil.

- Barros, M. E., B. Pashanasi, R. Constantino y P. Lavelle. 2002. Effects of land-use systems on soil macrofauna in Western Amazon Basin. *Biological Fertil Soils*, 35: 338-347.
- Bezkorovainaya, I. N. y G. I. Yashikhin. 2003. Effects of soil hydrothermal conditions on the complexes of soil invertebrates in coniferous and deciduous forest cultures. *Russian Journal of Ecology*, 34:52-58.
- Blanchart, E., P. Lavelle, E. Brardeau, Y. L. Bissonnais y C. Valentin. 1997. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Cote d'Ivoire. *Soil Biology Biochemistry*, 29: 431-439.
- Bo, T., W. Fu-Zhong, Y. Wan-Qin y Y. Sheng. 2010. *Characteristics of soil animal community in the subalpine/alpine forest of western Sichuan during onset of frezzing*. *Acta Ecologica Sinica* 30 (2010) 93–99.
- Bocco, G., M. Mendoza y O. R. Maser. 2001. *La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación (parte 1)*. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, 18-38.
- Bongers, T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83:14-19.
- Brady, N y R. Weil. 2008. *The nature and properties of soil*. 14th ed. New Jersey. Pearson Prentice Hall.
- Brown, G. G., C. Fragoso, I. Barois y P. Rojas. 2001. *Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos*. *Acta Zool. Mex. (n.s.) Número especial* 1:79-110.
- Briceño, V., J. Armando y R.F. Hernández. 2008. Insectos del orden hemíptera-homoptera de importancia forestal en Venezuela. *Revista*

forestal Venezolana, año XLII. Volumen 52 (2) julio-diciembre, pp.177-187.

- Brussard, L. 1998. *Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes*. Elsevier. Applied Soil Ecology 9, 123-135.
- Brusca, R.C. y J. G. Brusca. 2003. Invertebrates. 2^a edición. Sinauer Associates. USA.
- Burel, F. y J. Baudry. 2002. *Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones*. Mundi Prensa Libros SA.
- Challenger, A., y J. Soberón. 2008. *Los ecosistemas terrestres, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México, pp. 87-108.
- Cole, L., M.A. Bradford, P. Shaw y R. D. Bardgett. 2006. *The abundance, richness and functional role of soil meso- and macrofauna in temperate grassland—A case study*. Applied Soil Ecology 33: 186–198.
- Coleman, D.C., D. A. Crossley Jr. y P. F.Hendrix. 2004. *Fundamentals of soil ecology*. Elsevier.
- Coleman, D. C., C. P.P. Reid y C. V. Cole. 1983. *Biological strategies of nutrient cycling in soil systems*. Adv. Ecol. Res. 13, 1-55.
- Coleman, D. C. y J. F. T. Schoute. 1993. *Translation of soil features across levels of spatial resolution-introduction to round table discussion*. Geoderma 57: 171-181.
- Collins, N.M. 1980. *The distribution of soil macrofauna on the West of Gunung (Mount) Mulu, Sarawak*. Oecologia (Berl.) 44:263-275 (1980).

- Coto-Alfaro, D. 1998. Estados inmaduros de los órdenes Coleoptera, Diptera y Lepidoptera: Manual de reconocimiento. Serie técnica Manual Técnico No. 27. Costa Rica.
- Delgadillo, E. 2011. *Productividad primaria neta de los bosques de la Cuenca del Río Magdalena*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- De la Rosa, I.N. y S. Negrete-Yankelevich. 2012. *Distribución espacial de la macrofauna edáfica en bosque mesófilo, bosque secundario y pastizal de la reserva La Cortadura, Coatepec, Veracruz, México*. Revista Mexicana de Biodiversidad 83:201-215, 2012.
- Edwards, C.A. y P.J. Bohlen. 1992. *Effects of toxic chemicals on Earthworm. Reviews of environmental contamination and toxicology*. 125: 23-99.
- Ettema, C. H. y T. Bongers. 1993. Characterization of nematode colonization and succession in disturbed soil using the Maturity Index. Biological Fertil Soils 16: 79-85.
- Fassbender, H.W. 1975. *Contenido y formas de arsénico en algunos suelos tropicales*. Turrialba 25: 11-17.
- Fassbender H.W. y E. Bornemisza. 1987. *Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina*. 2ª edición. Editorial IICA. Costa Rica.
- Ferris, H., T. Bongers y B. G. M. de Goede. 2001. A framework for soil foodweb diagnostics: extension of nematode faunal analysis concept. Applied Soil Ecology 18: 13-29.
- Foissner, W. 1994. Soil protozoa as bioindicators in ecosystems under human influence. In "Soil Protozoa" (J. F. Darbyshire, ed.). CABI Publishing, Wallingford.

- Fragoso, C. y P. Rojas. 2014. Biodiversidad de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta: Crassiclitellata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 197-207.
- García-Gómez, A. 2009. Estructura de comunidades de artrópodos edáficos asociados a suelo y hojarasca, en diferentes altitudes del Iztaccíhuatl. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gelvez, I. 2008. Efecto del uso de suelo sobre la descomposición de la hojarasca y grupos funcionales microbianos (Cuenca del Río la Vieja, Quindío). Trabajo de Grado. Bogotá, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. Escuela de Microbiología Agrícola y Veterinaria.
- Gómez, I.A. y G.C. Gallopín. 1991. *Estimación de la productividad primaria neta de ecosistemas terrestres del mundo en relación a factores ambientales*. *Ecología Austral* 1:24-40, 1991.
- Göran, A., y F. Andersson. 2012. *Terrestrial Ecosystem Ecology, Principles and Applications*. Cambridge University Press. UK.
- Halffter G. y E.G. Matthews. 1966. *The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae)*. *Folia Entomológica Mexicana* 12:1-312
- Halffter G. y W.D. Edmonds. 1982. *The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae)*. Instituto de Ecología, México.
- Hendrix, P. F. (ed.). 1995. *Earthworm ecology and biogeography in North America*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Hillel, D. 1982. *Introduction to soil physics*. Academic Press, Inc. Estados Unidos.

- Jenkinson, D.S. y J.N., Ladd. 1981. *Microbial biomass in soil. Measurement and turnover*. In: J.N Ladd & E.A. Paul (Eds), Soil Biochemistry. Dekker, New York. 415- 471
- Jenny, H. 1941. *Factors of Soil Formation*. McGraw-Hill. Nueva York.
- Jones, C.G., J.H. Lawton y M. Shachak.1994. *Organisms as ecosystem engineers*. Oikos 60:373-386.
- Julca-Otiniano, A., L. Meneses-Florian, R. Blas-Sevillano y S. Bello-Amez. 2006. *La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura*. Volumen 24, N° 1, pag. 46-61, IDESIA (Chile).
- Kavvadias, V. A., D. Alifragis, G. Brofas, G. Stramatelos. 2001. Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in Northern Greece. *Forest Ecology Management* 144: 113-127.
- Lambin, E. F., H. J, Geist y E. Lepers. 2003. *Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions*. Annual review of environment and resources, 28, 205-241.
- Lavelle, P. 1996. *Diversity of Soil Fauna and Ecosystem Function*. Biology International N° 33.
- Lavelle, P., C. Lattaud, D. Trigo e I. Barois. 1994. Mutualism and biodiversity in soil. *Plant Soil*, 170: 23-33.
- Lavelle, P., N. Ruiz y J. Jiménez. 2008. *Soil Macrofauna Field Manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.

- Lavelle, P. y B. Kohlemann. 1984. Etude quantitative de la macrofaune du sol dans une forêt tropicale mexicaine (Bonampak, Chiapas). *Pedobiologia*, 27: 377-393.
- Lavelle, P. y A. Spain. 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Academics. The Netherlands.
- León-García, G., E. Razo-Flores y F. J. Cervantes. 2007. *Propiedades catalíticas del humus y su potencial aplicación en la degradación de contaminantes prioritarios*. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3 (2): 118-128.
- Linden, D.R., P.F Hendrix, D. C. Coleman, P.C.J. van Vilet. 1994. *Faunal indicators of soil quality*. In Doran, J.W.; Jones, A.J. (Eds.). *Defining soil quality for a sustainable Environment*. SSSA. Special Publication no. 35. p. 91-106.
- Madrigal, X. 1967. Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* (HBK.) Schl. y Cham.) en el Valle de México. Instituto Nacional de Investigación Forestal. Boletín Técnico 18.
- McNaughton, S.J., M. Oesterheld, D.A. Frank y K.J. Williams. 1989. *Ecosystem-level Patterns of Primary Productivity and Herbivory in Terrestrial Habitats*. *Nature* 341:142-144.
- Margalef, R. 1997. *Our Biosphere*. O. Kinne, editor. Excellence in Ecology Series. Ecology Institute, Oldendorf, Germany.
- Martínez, I., M. Cruz, E. Montes de Oca y T. Suárez. 2011. *La función de los escarabajos de estiércol en los pastizales ganaderos*. Secretaria de Educación de Veracruz.

- Martínez- Hurtado, M. 2014. *Distribución y composición de la macrofauna y mesofauna edáfica del Bosque de Oyamel en la cuenca del Río Magdalena, D.F. México* (Tesis de Licenciatura). UNAM. México.
- Martínez-Yrizar, A., R.S. Felger y A. Búrquez. 2010. *Los ecosistemas terrestres: un diverso capital natural*. En: F.E. Molina-Freaner y T.R. Van Devender, eds. *Diversidad biológica de Sonora*. UNAM, México, pp. 129-156.
- Mason, C.F. 1976. *Decomposition*. The Camelot Press Ltd, London, UK. 57 pp.
- Mendoza, M., E. López y G. Bocco. 2001. *Regionalización ecológica, conservación de recursos naturales y ordenamiento territorial en la cuenca del lago de Cuitzeo*. Michoacán. Resultados. Proyecto.
- Moore, J.C. y P. C. de Ruiter. 1991. *Temporal and spatial heterogeneity of trophic interactions within below-ground food webs*. *Agric. Ecosys. Environ.* 34, 371-397
- Moorhead, D. L., R.L. Sinsabaugh, A. E. Linkins y J. F. Reynolds. 1996. *Decomposition processes: modelling approaches and applications*. *The Science of the Total Environment* 183: 137-149.
- Nataren-Velázquez, J., A.L. Del Ángel-Perez, J. Adame-García, C. Aridai-Hernández y M. Hernández-Osorio. 2014. *Estimación de macrofauna edáfica presentes en parcelas establecidas con árboles forestales, frutales y un acahual*. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2 (3): 319-322.
- Neher, D. A., S. L. Peck, J. O. Rawlings y C.L. Campbell. 1995. *Measures of nematode community structure and sources of variability among and within agricultural fields*. *Plant and Soil* 170: 167-181.

- Obando, F. H., J. M. Montes y M. A. Zuluaga. 2004. Desarrollo de indicadores de calidad inherente y dinámica de Andisoles en el departamento de Caldas. *I Taller Nacional sobre Indicadores de Calidad del Suelo, Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Palmira, 20, 21 y 22, Octubre, 2004.*
- Odum, E. 1972. *Ecología*. 3ª edición. Nueva Editorial Panamericana. México, D.F.
- Osborne, P.L. 2000. *Tropical Ecosystems and Ecological Concepts*. Cambridge University Press, Cambridge,
- Parsons, T. R. y B. Hargrave. 1984. *Biological Oceanographic Processes*. 3rd Ed. Pergamon Press. 330 pp.
- Polis, G.A. 1991. *Complex trophic interactions in deserts: An empirical critique of food-web theory*. *American Naturalist* 138:123–155.
- Ramírez- Gutierrez, A. 2008. Densidad de la fauna edáfica como indicador de calidad del suelo en bosques templados y zonas adyacentes en México. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Autónoma de México.
- Roig-Juñent, S. y M. Dominguez. 2001. Diversidad de la familia Carabidae (Coleoptera) en Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 74: 549-571.
- Rouifed, S., I.T. Handa, J. F. David y G. Hättenschwiler. 2010. *The importance of biotic factors in predicting global change effects on decomposition of temperate forest leaf litter*. *Oecologia*, 163:247–256.
- Rodríguez-Romero, A. S. y M. C. Jaizme-Vega. 2011. Los microorganismos edáficos y su uso como indicadores de fertilidad. Jornada Técnica: Fertilidad y calidad del suelo. Experiencias de

fertilización orgánica en plantanera. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. Proyecto BIOMUSA.

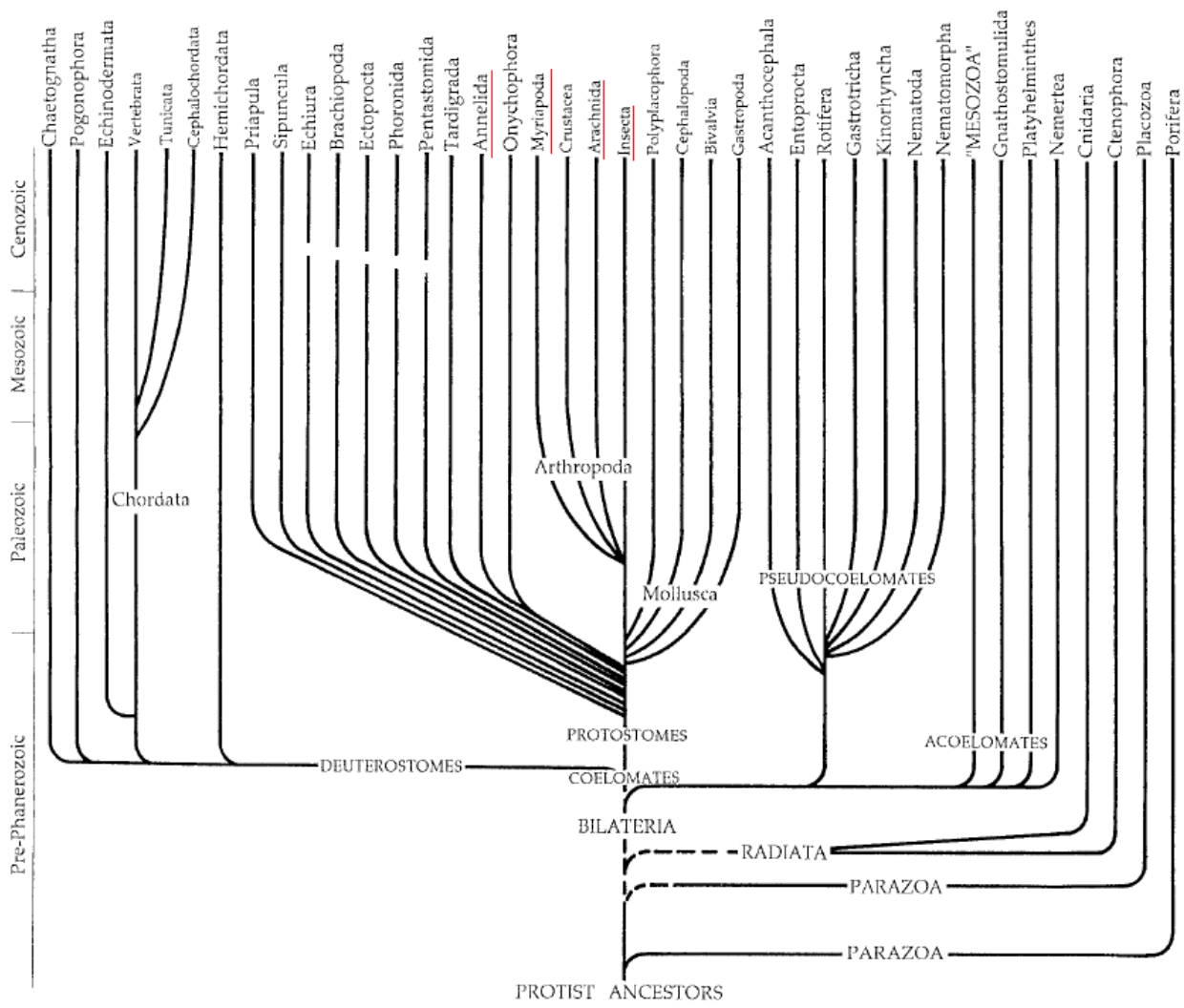
- Rzedowsky, J. 2006. *Vegetación de México*. 1ra Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- Salamon, J. A., A. Zaitzev, S. Gärtner y V. Wolters. 2008. Soil macrofaunal response to forest conversion from pure coniferous stands into semi-natural montane forest. *Applied Soil Ecology*, 40:491-498.
- Satchell, J.E. 1974. *Litter-interface of animate/inanimate matter*. Biology of Plant Litter Decomposition. Vol.1. Dickinson, C.H. y G.J.F. Pugh (Eds.). Academic Press. London.
- Scheu, S. y G. Poser. 1996. The soil macrofauna (Diplopoda, Isopoda, Lumbricidae and Chilopoda) near tree trunks in a beechwood on limestone: indications for stemflow induced changes in community structure. *Applied Soil Ecology*, 3 : 115-125.
- StatSoft Inc. 2007. STATISTICA para Windows. Versión Manual 6.0. Tulsa. Oklahoma.
- Steffen, W.L., B. H. Walker, J.S. Ingram y G.W. Koch. 1992. *Global Change and Terrestrial Ecosystems: The Operational Plan*. IGBP Report No. 21. International Geosphere-Biosphere Programme, Stockholm, p. 93
- Stork, N. E. y P. Eggleton. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*, Vol. 7 pp 38-47.
- Stuart, F., P.A. Matson y P. M. Vitousek. 2011. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. 2ª Ed. Springer. USA.

- Striganova, B. 1996. *Transect approach to the assessment of soil macrofauna diversity*. Biology International N° 33 (July 1996).
- Subler, S., C.M. Baranski y C.A. Edwards. 1997. *Earthworms additions increased short-term nitrogen availability and leaching in two grain-crop agroecosystem*. Soil Biology and Biochemistry. 29: 413-421.
- Tarbuck, E. y F. Lutgens. 2005. *Ciencias de la Tierra*. 8ª edición. Pearson Prentice Hall. Madrid, España.
- Thonicke, K., S. Venevsky, S. Sithc y W. Cramer. 2001. *The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: coupling fire into a dynamic global vegetation model*. Global Ecology and Biogeography. 10; 661–677.
- Trueba, D.P., V.G. Cairo y T. Tcherva. 2005. Microartrópodos asociados a la hojarasca de un bosque semideciduo de Bacunayagua, Matanzas, Cuba. *Revista Biología*, 19: 57-64.
- UNESCO.1974. FAO/UNESCO. Soil map of the world 1:5,000,000. Vol. 1. París.
- Usher, M.B. *et al.* 2006. *Understanding biological diversity in soil: the Soil Biodiversity Research Programme*. *Appl. Soil Ecol.* 21:49.
- Valladares, A., 2009. *9520 Abetales de Abies pinsapo Boiss*. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 90 p.
- Villalobos, F. J. y P. Lavelle. 1990. The soil coleóptera community of a tropical grassland from Laguna Verde, Veracruz (México). *Revue d'Ecologie et Biologie du sol*, 27(1): 73-93.

- Villalobos, F.J., R. Ortiz-Pulido, C. Moreno, N. P. Pavón-Hernández, H. Hernández-Trejo, J. Bello y S. Montiel. 2000. *Patrones de la macrofauna edáfica en un cultivo de Zea maíz durante la fase postcosecha en la "Mancha", Veracruz, México*. Acta Zool. Mex. (n.s.) 80:167-183.
- Villaseñor, R. y F. Sáiz 1990. *Incendios forestales en el Parque Nacional La Campana, sector Ocoa, V Región, Chile. II. Efecto sobre el estrato arbustivo-arbóreo*. Anales Museo de Historia Natural. 21; 15-26.
- Wallwork, J.A. 1970. *Ecology of soil animals*. McGraw-Hill, London.
- Whittaker, R. 1975. *Communities and Ecosystems*. 2^a ed. MacMillan, Nueva York.
- Wiwatwitaya, D. y Takeda, H. 2005. Seasonal changes in soil arthropod abundances in the dry evergreen forest of north-east Thailand, with special reference to collembolan communities. *Ecological Research*, 20: 59-70.
- Zar, H. J. 1999. *Biostatistical analysis*. 4^a ed. Prentice Hall. New Jersey.
- Zerbino-Bardier, M.S. 2005. *Evaluación de la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción*. (Tesis de Maestría) Universidad de la Republica, Facultad de Ciencias. Montevideo, Uruguay.




Anexo 1.

Microfotografías de la macrofauna edáfica.



Árbol filogenético en donde se subraya en rojo las clases a las cuales pertenecen las familias encontradas en este estudio (Brusca, 2003).

Clase Arachnida

| Familia | Microfotografia |
|----------------|--|
| Lycosidae |  <p>1mm</p> |
| Linyphiidae |  <p>2mm</p> |
| Tetragnathidae |  <p>2 mm</p> |

Dictynidae



Anyphaenidae



Agelinidae



Nemesidae



Phalangodidae

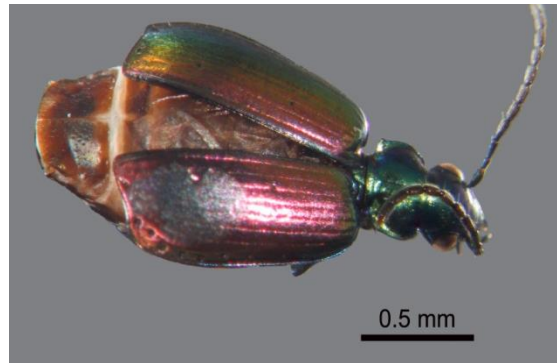


Trombidiidae



Clase Insecta

Carabidae



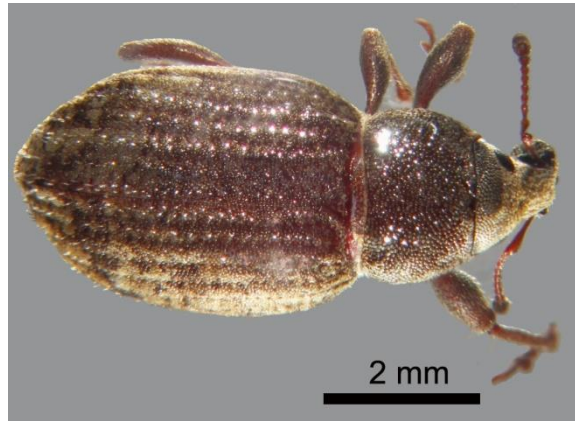
Scarabaeidae



Chrysomellidae



Curculionidae



Staphylinidae



Zopheridae



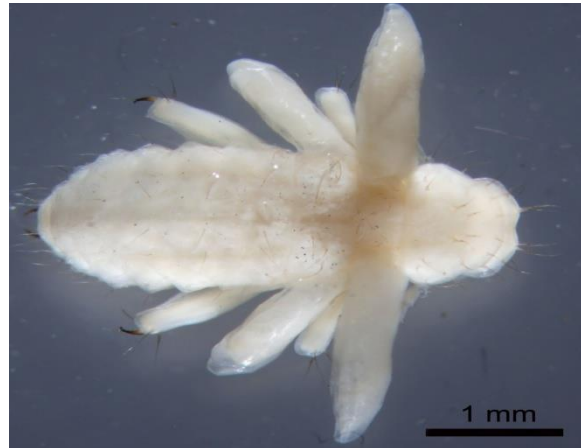
Tenebrionidae


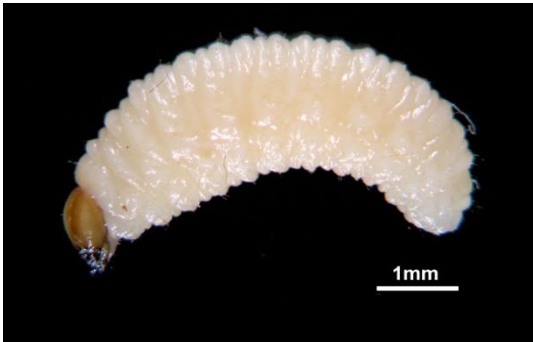








Coccinelidae



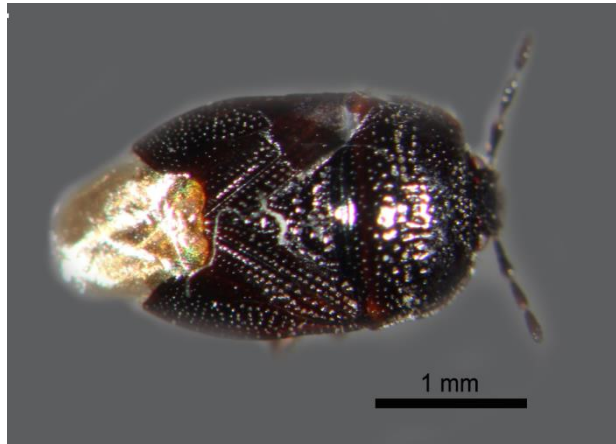
Pupa exarata de coleóptero



| | |
|-------------------------------|--|
| <p>Larva de Scarabaeidae</p> |  |
| <p>Larva de Curculionidae</p> |  |
| <p>Larva de Staphylinidae</p> |  |
| <p>Larva de Carabidae</p> |  |

| | |
|--------------------|--|
| Muscidae |  A photograph of a pale, segmented larva of a Muscidae fly. The larva is curved and has a segmented body with small bristles. A scale bar in the bottom right corner indicates 5 mm. |
| Tipulidae |  A photograph of a Tipulidae larva, which is a long, segmented, worm-like creature with a pointed head and a tail. It has long, thin legs. A scale bar in the bottom right corner indicates 5 mm. |
| Mydaiidae |  A photograph of a Mydaiidae larva, which is a long, segmented, worm-like creature with a pointed head and a tail. It has a segmented body with small bristles. A scale bar in the bottom right corner indicates 2 mm. |
| Larva de Arctiidae |  A photograph of a larva of the Arctiidae family, which is a caterpillar covered in long, white, hair-like bristles. The caterpillar is curved and has a segmented body. A scale bar in the bottom right corner indicates 10 mm. |

Cydnidae



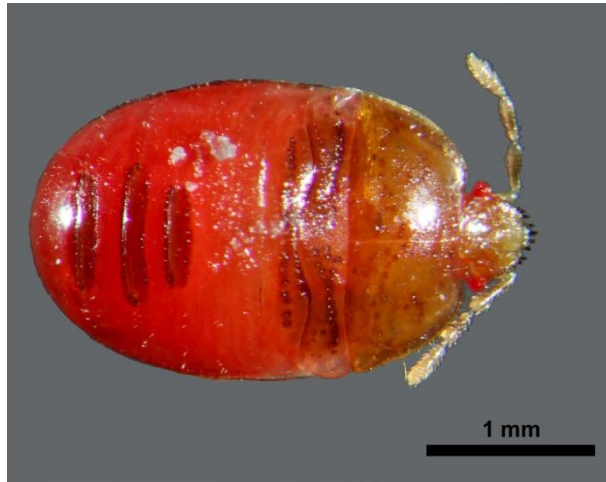
Lygaidae



Cicadellidae



Ninfa de Cydnidae



Ninfa de Hemiptera



Apididae



Formicidae



Aphididae

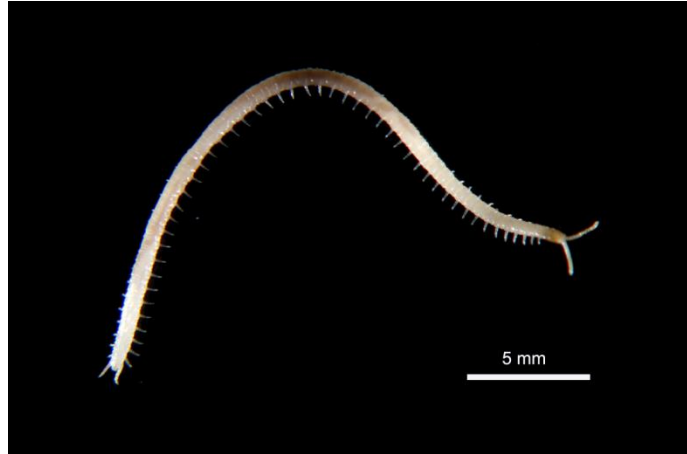


Clase: Diplura

Familia: Japygidae



Clase: Myriapoda
Familia: Geophilidae



Clase: Myriapoda
Familia: Lithobiidae



Clase Oligochaeta

Enchytraidae



Lumbricidae



Anexo 2. Se muestra la cantidad promedio de los pesos obtenidos de las raíces extraídas en cada uno de los sitios de muestreo, así como sus respectivos índices de Shannon-Wiener (H').

| Sitio | Raíces (g) | $H'_{\text{sequía}}$ | H'_{lluvia} |
|--------------------|------------|----------------------|----------------------|
| 0 m ² | 1.53 | 2.091 | 1.916 |
| 1 m ² | 0.69 | 2.713 | 1.827 |
| 1.7 m ² | 1.27 | 1.853 | 1.5 |
| 1.8 m ² | 0.66 | 1.211 | 0.843 |
| 2.4 m ² | 0.46 | 1.614 | 1.367 |
| 3.1 m ² | 0.55 | 1.39 | 0.865 |