



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

POSGRADO EN PROTECCION VEGETAL

**RELACION DE LA COLEMBOLOFAUNA EDÁFICA CON LOS FACTORES
FÍSICOS Y QUÍMICOS DE UN BOSQUE DE PINO-ENCINO EN
TEXCOCO, MÉXICO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE: MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL**

PRESENTA:

Ing. Fidelia Mercado Escamilla



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Chapingo, Texcoco, México, junio de 2017

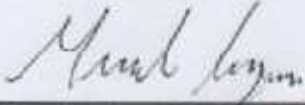


La presente tesis, titulada: **Relación de la colembolofauna edáfica con los factores físicos y químicos de un bosque de pino-encino en Texcoco, México.** realizada por la Ing. Fidelia Mercado Escamilla bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCION VEGETAL

Codirectora: 
Dra. H. Gloria Calyecac Cortero

Codirector: 
Dr. Andres Miranda Rangel

Asesor: 
Dr. Santos Gerardo Leyva Mir

Chapingo, Texcoco, México, junio de 2017

DEDICATORIA

Son muchas las personas especiales a las que agradezco su amistad, apoyo y compañía a lo largo de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en el corazón. A todas ellas dedico esta tesis, especialmente:

A mi madre:

Honorio Escamilla (+), que es el más grande ejemplo que tengo de lucha, porque la admiro, respeto y quiero. GRACIAS por darme la vida y por ser mi madre.

A mi padre:

Mario Mercado (+), quien siempre se esforzó por guiarme, cuidarme y protegerme, siempre te tengo presentes en mi corazón.

A mis hermanos: José, Otoniel y su hermosa familia, quienes me han motivado a continuar con mis sueños.

A mis compañeros y amigos en distintas etapas de mi vida; gracias por su apoyo, amistad y cariño.

A la Dra Gloria Calyecac, por su amistad brindada, por ser un ejemplo para la construcción de una sociedad más humanitaria y por ser una guía en mis andanzas por el camino de la ciencia. Gracias por todo el apoyo.

Al Dr. Andrés Miranda Rangel. Por permitirme trabajar este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

La presente Tesis, es resultado del esfuerzo de varias personas quienes contribuyeron directa e indirectamente, asesorando, leyendo y corrigiendo.

Agradezco en primer lugar al pueblo de México, que a través del Consejo Nacional De Ciencia Y Tecnología (CONACYT), me otorgó una beca para realizar mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo. Programa Maestría en Protección Vegetal, por permitirme ser parte de ella.

A los profesores del posgrado en Protección Vegetal, por compartir sus conocimientos y experiencias, para contribuir a mi formación.

A la Dra. H. Gloria Calyecac Cortero, por su apoyo en la coordinación y dirección de este trabajo.

Al Dr. Andrés Miranda Rangel, por su apoyo en la coordinación y dirección de este trabajo y por sus valiosas aportaciones durante la realización del trabajo de investigación.

Al Dr. Santos Gerardo Leyva Mir, por incentivarme a continuar con mi formación y por su apoyo en la realización y revisión del presente trabajo.

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora nació el 17 de octubre de 1987, en la Localidad de Santo Domingo Tianguistego, municipio de Chazumba en el estado de Oaxaca. En este lugar cursó su educación básica. Inició su preparación media profesional en la universidad Autónoma Chapingo (UACH), en donde culminó con su licenciatura.

En 2014, obtuvo el título de Ingeniero agrónomo especialista en Fitotecnia y posteriormente se desarrolló como técnico para diferentes consultorías. En enero de 2015 ingresó al posgrado en Protección Vegetal del departamento de Parasitología Agrícola de la UACH.

ÍNDICE

1. INTRODUCCION	8
1.1. Objetivos	10
1.2. Hipótesis	10
2. REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1. Importancia de los colémbolos	11
2.2. Distribución y hábitat.....	13
2.3. Diversidad	14
2.4. Distribución en México.....	14
2.5. Descripción morfológica del grupo.....	15
2.5.1. Tamaño	15
2.5.2. Cuerpo.....	15
2.5.3. Pigmentación y forma de cuerpo.....	17
2.5.4. Cutícula	17
2.6. Reproducción y desarrollo.....	18
2.7. Taxonomía.....	19
2.8. Sistemática	19
2.8.1. Arthropleona	20
2.8.2 Symphypleona	23
2.9. Ciclos biogeoquímicos de suelos	25
2.9.1. Ciclo de elementos: caso Carbono.....	27
2.9.2. Nitrógeno.....	28
2.9.3. Fosforo	28
2.9.4. Azufre	29
2.10. El pH y los organismos del suelo	29
3. METODOLOGIA	30
3.1. Fase de campo	30
3.1.1. Localización.....	30

3.1.2. Muestreo	31
3.2. Fase de laboratorio.....	32
3.3. Análisis estadístico	32
3.3.1. Variables de estudio	33
3.3 Índice de diversidad.....	33
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	34
4.1 Abundancia general.....	34
4.2 abundancia por fecha de colectas.....	37
4.2 abundancia por sitios de sitio.....	40
4.3 Índice de diversidad.....	41
4.4. Relacion de los colembolos más abundantes con algunas carcaterísticas químicas del suelo	43
4.4.1. Suelo.....	43
4.4.2. Hojarasca.....	44
5. CONCLUSIONES.....	47
6. LITERATURA CITADA	48

1. INTRODUCCION

El suelo no es un sustrato inerte en el que se desarrollan plantas, en él habita una gran diversidad de organismos (la mayoría benéficos en forma indirecta), tanto animal como vegetal, que realizan una gama muy compleja de interacciones biológicas y reacciones químicas (Najt 1973, Rapoport 1975).

Los organismos existentes en el suelo contribuyen directa o indirectamente a su formación, ya que descomponen e incorporan materia orgánica (Palacios, 1983). Muchos son importantes en la aireación; otros, al alimentarse de detritus vegetales, favorecen la producción de bacterias y hongos, que luego actúan sobre los suelos de manera más eficiente (Palacios, 1983).

La función de la fauna edáfica se relaciona con el ciclado de nutrientes, el cual está en estrecha relación con la descomposición de la materia orgánica. Aquí también los microorganismos desempeñan una importante actividad, pero la tasa a la cual ellos operan es determinada por pequeños descomponedores como protozoarios y nematodos; mientras, los organismos mayores contribuyen al proceso por la relación o asociación de los microorganismos y su tracto digestivo, lo que da por resultado excretas ricas en nutrientes. Grupos clave como lombrices de tierra, termitas, hormigas y artrópodos que se alimentan de la hojarasca afectan la estructura física del suelo e influyen en la dinámica de los nutrientes a través de su efecto sobre la inmovilización y humificación (Anderson y Flanean, 1989; Lavelle et al., 1992).

Los grupos faunísticos más importantes dentro del suelo, por su número, diversidad, abundancia de especies y actividad, son los ácaros oribátidos y los insectos colémbolos. La relevancia de ambos radica principalmente en su participación en procesos tales como la descomposición de la materia orgánica vegetal y el reciclaje de nutrientes del suelo, además de funcionar como indicadores de condiciones precisas del medio (Ponge, 1980).

Tanto colémbolos como ácaros son trituradores de material vegetal, comedores de detritus y descomponedores, los colémbolos son capaces de descomponer la

quitina, gracias a una bacteria presente en su intestino., en estado vivo, tanto colémbolos como ácaros, contribuyen a la formación de suelo, primero extrayendo materiales que son ingeridos hacia el intestino, y segundo producen heces fecales que son añadidas al suelo agregándolo (Labrador, 2001).

Los colémbolos edáficos participan en: a) la fragmentación de la materia orgánica principalmente de origen vegetal (Moore y Walter, 1988); b) el consumo y la dispersión de la microbiota edáfica, manteniendo la diversidad biótica (Newell, 1984), c) el mantenimiento de la diversidad enzimática en el suelo, lo cual hace más eficiente la descomposición de la materia orgánica, sobre todo la de origen vegetal (Faber et al., 1992); d) regulan la sucesión de hongos durante la descomposición de la hojarasca (Klironomos et al., 1992); e) participan en la descomposición de moléculas recalcitrantes como la celulosa y la quitina (Cancela Da Fonseca y Poinso-Balaguer 1983); f) controlan por depredación a otras poblaciones de colémbolos y de nematodos (Macnamara, 1924; Elliott et al., 1988); y g) promueven la liberación de nitrógeno en el suelo (Bardgett et al., 1999).

Hoy se acepta que la actividad y diversidad de la microbiota no solo es un factor clave en la fertilidad del suelo, sino que también lo es en la estabilidad y funcionamiento de los ecosistemas naturales y agroecosistemas (Kennedy & Smith, 1995). De hecho, se puede afirmar que la diversidad microbiana es esencial para garantizar los ciclos de los nutrientes y los fenómenos de descomposición de material vegetal en cualquier ecosistema terrestre (Barea & Olivares, 1998).

La importancia de este trabajo fue encontrar que factores físicos (tipos de vegetación) y edafológicos intervienen en el aumento de la diversidad y la riqueza de colémbolos en una zona donde las perturbaciones al ambiente natural se ha visto afectada por incendios forestales.

1.1. Objetivos

General

- ✚ Conocer la relación entre algunas características químicas del suelo y de la hojarasca de cinco sitios de un bosque de pino encino en Texcoco, México, con la abundancia y la diversidad de colémbolos.

Específicos

- Determinar la relación de la comunidad de colémbolos con algunas características químicas del suelo y de la hojarasca.
- Conocer la composición y diversidad de la comunidad de colémbolos edáficos de un bosque de pino- encino en Texcoco, México.

1.2. Hipótesis

Para el presente estudio se plantea la siguiente hipótesis:

- Las comunidades de colémbolos son indicadores de algunas características químicas del suelo y de la hojarasca.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de los colémbolos

La mesofauna del suelo interviene en los procesos de descomposición de la materia orgánica, de aceleración y reciclaje de los nutrientes y, en particular, en el de mineralización del fósforo y el nitrógeno (García y Bello, 2004). Los grupos que la integran son reguladores del proceso trófico del medio edáfico, al ayudar en la formación de su microestructura con sus aportes de deyecciones, excreciones, secreciones y con sus propios cadáveres. También facilitan la diseminación de esporas, hongos y otros microorganismos, por lo que son conocidos como catalizadores de la actividad microbiana. Además se les reconoce como microingenieros del medio edáfico, ya que construyen galerías en el suelo y mejoran las propiedades físicas de este, al favorecer la aireación y la infiltración de agua. Por ello constituyen factores decisivos para el mantenimiento de su productividad (Socarras, 2013).

La mesofauna es una categoría zoológica cuyos componentes viven toda su vida en el suelo, la cual incluye: ácaros (Acari), colémbolos (Collembola), sínfilos (Symphyla), proturos (Protura), dipluros (Diplura), paurópodos (Pauropoda), tisanópteros (Thysanoptera), socópteros (Psocoptera), enqui- treidos (Enchytraeidae) y polixénidos (Polixenida) de 0,2-2,0 mm de diámetro. Muchos de estos grupos son bioindicadores de la estabilidad y la fertilidad del suelo (García-Álvarez y Bello, 2004); entre ellos se destacan los ácaros y los colémbolos, por ser los principales representantes de este tipo de fauna y por poseer mejores condiciones para ser utilizados con este fin (Socarras, 2013).

Numéricamente, los colémbolos ocupan el segundo lugar en abundancia después de los ácaros, pero en determinados suelos y circunstancias pueden ser los más abundantes (Najt, 1973). En general, tienen una distribución más amplia que cualquier otro grupo de insectos (Christiansen y Bellinger, 1980), y porque su fácil dispersión permite que colonicen rápidamente los medios. Viven en todas las altitudes y latitudes, en climas muy variados: ártico, antártico, tropical y templado.

(Palacios, 1993).

Los colémbolos pueden ser utilizados como bioindicadores de las condiciones del suelo donde se desarrollan debido a que sus poblaciones son altamente sensibles a las variaciones de dichas condiciones (Chagnon et al. 2000). Estos cambios pueden inducir desapariciones de poblaciones particulares o incluso de comunidades, o posibilitar incrementos importantes de algunas poblaciones o permitir que otras nuevas se establezcan, lo cual induce cambios en la diversidad de sus comunidades (Chernova y Kuznetsova, 2000).

En el caso de los colémbolos (Collembola) se conoce que dependen de la conjugación de los factores materia orgánica y humedad, y son susceptibles a las perturbaciones del medio (Chocobar, 2010). Según Bellinger, Christiansen y Janssens (2003), ellos desempeñan un papel decisivo en el reciclaje de los restos orgánicos y son capaces de fraccionar y triturar los restos vegetales, lo que aumenta la implantación de la microflora. Los alimentos que ingieren, una vez degradados, intervienen en la formación de humus; muchos suelos incorporan millones de bolitas de heces fecales de colémbolos que benefician las raíces, por la liberación continua de nutrientes, en la medida que estas son desintegradas por los microorganismos edáficos (Palacios, 2000).

Por otra parte, participan en el mantenimiento de las concentraciones de hongos y nematodos favorables para el crecimiento de las plantas; pero además pueden comer hongos patógenos y con ello disminuyen las concentraciones fungosas en los cultivos, por lo que se utilizan como bioindicadores de la contaminación del suelo (González, Díaz y Prieto, 2003). Estos hexápodos constituyen indicadores del pH del suelo y la humedad; algunas especies son sensibles a los productos químicos, mientras que otras aumentan su densidad. También sirven para revelar las diferencias entre los bosques, así como en la evolución de los ecosistemas con diferentes grados de perturbación (Palacios, 2000).

2.2. Distribución y hábitat

Los colémbolos como grupo tienen una distribución cosmopolita; sin embargo, algunos géneros están limitados a distintos biotopos y zonas biogeográficas.

Los colémbolos habitan en muchos lugares del mundo, ya que su alta capacidad de dispersión les ha permitido conquistar diferentes ecosistemas con climas extremos tales como los desiertos y las regiones polares (Hopkin, 2002), así como también las zonas tropicales y templadas. Los ambientes en los que siempre se hallan son: el suelo hasta 1.5 m de profundidad, la hojarasca presente en el piso de los bosques, en los musgos, en las cortezas de los árboles, en los estanques de agua temporales o permanentes, ríos y lagos, guano de murciélagos, en cuevas y en plantas que crecen arriba de los árboles (epífitas). Son frecuentes en nidos de insectos sociales, aves y mamíferos (Hopkin, 1998; Palacios, 2000; Cutz-Pool et al., 2007). Los únicos ambientes que poco han podido colonizar son las aguas profundas y el mar abierto; sin embargo, el litoral marino, rocoso o arenoso tiene una gran abundancia de colémbolos (Palacios, 2014).

La mayoría de ellos se alimenta de hongos, esporas o de material vegetal en descomposición. También hay algunas especies que ingieren gusanos redondos (nematodos), algunos microorganismos como los rotíferos, tardígrados, otros colémbolos (Palacios y Vidal, 1994) y ácaros (Castaño et al., 2004). Muy pocas especies de colémbolos son plagas de la alfalfa, hongos, tomate y caña de azúcar. Hay registros inéditos de colémbolos que se alimentan de tejidos en descomposición de *Agave tequilana* en Jalisco, así como del apio y otras hortalizas de Xochimilco. Los pocos registros que existen sobre sus ataques y daños producidos a humanos, son erróneos; sin embargo en México algunos miembros de la familia Entomobryidae (*Seira* sp.) pueden ser tan abundantes en ciertas épocas que invaden casas y tiendas de campaña (Palacios, 2014).

2.3. Diversidad

Se conocen poco más de 8 200 especies de colémbolos en el mundo, algunas ampliamente distribuidas, ya que tienen gran capacidad para ocupar diversos hábitats; sin embargo, esta cantidad sólo representa una proporción muy baja del número de especies que deben existir en realidad, ya que aún faltan muchas por descubrir y describir. En México se conocen 24 familias (el 70% de las existentes en el mundo). Las familias con mayor cantidad de registros son: *Entomobryidae*, *Neanuridae*, *Isotomidae* e *Hypogastruridae* y de las que se tienen menos son *Poduridae*, *Coenaletidae*, *Colophoridae* y *Actaletidae*, pero que tampoco tienen una gran riqueza a nivel mundial (Palacios, 2014).

2.4. Distribución en México

La diversidad de colémbolos que se conocía para el país era muy baja hasta principios de los años 70, menos de 200 especies (Palacios, 1983). Posteriormente hubo un incremento en la descripción de nuevos taxa (Fig. 5), así como de nuevos registros, más de 550 para 1997 (Palacios, 1997) y cerca de 700 para el 2004 (Palacios et al., 2004; Castaño, 2005). Sin embargo, muchos de los registros han sido a nivel genérico con taxa cercanos o conferidos a diversas especies. Un registro estricto de los colémbolos a nivel de especie llega apenas a 600. Según Hopkin (1998) el total de Collembola en el mundo debe ser de 50 000 especies, extrapolando estos datos, posiblemente existan en México cuando menos 3 600 especies ya que de muchos estados se tiene un conocimiento muy incipiente (Palacios, 2014).

Los estados donde han sido citados mayor cantidad de especies colémbolos en orden descendente: estado de México (164), Veracruz (150), Distrito Federal (120), Morelos (105), Hidalgo (99), Jalisco (99) y Guerrero (92), lo que no indica que sean los que tengan mayor riqueza específica, solamente que es donde más se ha trabajado por la realización de diversos proyectos. Los estados de los que se tiene menor número de registros (menos de 10 para cada uno), son Nayarit, Coahuila,

Aguascalientes, Tlaxcala y Sinaloa. La suma de todos los registros estatales es de 1 444 (Palacios, 2014).

2.5. Descripción morfológica del grupo

2.5.1. Tamaño

Los colémbolos son pequeños hexápodos, parientes de los insectos pero sin alas (ahora considerados como una clase separada), que miden en promedio 2 mm de longitud (entre 200 μm y 10 mm), son comunes y abundantes en diferentes ambientes, y con frecuencia se registran densidades hasta de más de 100 000 ind/ m^2 de suelo (Hopkin, 1997, 2002). En el dosel de las selvas puede haber más de un millón de ejemplares por 100 m^2 (Palacios y González, 1995).

Los colémbolos miden entre 0.25 mm y 10 mm de longitud (generalmente 1-2 mm) y su desarrollo es ametábolo y epimórfico (Greenslade, 1991).

El tamaño de los colémbolos es muy variable, aunque la mayoría mide cerca de 1 mm; los colémbolos más grandes alcanzan entre 5 y 9 mm, por ejemplo: *Morulina*, *Tetrodontophora* y *Tomocerus*. Las formas más pequeñas corresponden a los Neelidae y Poduromorpha, entre 0.2 y 0.7 mm (Vázquez y Palacios, 2004).

2.5.2. Cuerpo

El cuerpo de los colémbolos está cubierto de sedas y con frecuencia de escamas y tricobotrias, se divide en 3 regiones:

- a) Cabeza: presenta una forma oval o pentagonal en vista dorsal. En *Arthropleona* es paralela al eje longitudinal del cuerpo o un poco inclinada hacia abajo (Vázquez y Palacios, 2004), las antenas se encuentran cerca del extremo anterior con un par de antenas con 4 artejos (a veces subdivididos o anillados y con numerosas sedas y sensilas) y 8 corneólas a cada lado de la cabeza; algunas especies cavernícolas o de suelos profundos carecen por completo de ojos. Entre las corneólas y las antenas puede existir un órgano

postantenal formado por una o numerosas vesículas. Las piezas bucales, mandíbulas y maxilas, están dentro de la cavidad bucal y pueden estar adaptadas para masticar o para picar y chupar sus alimentos (Palacios, 2014). La cabeza presenta una forma oval o pentagonal en vista dorsal. En *Arthropleona* es paralela al eje longitudinal del cuerpo o un poco inclinada hacia abajo, con las antenas cerca del extremo anterior.

- b) Tórax: conformado por 3 segmentos, cada uno lleva un par de patas; las patas están formadas por: precoxa, coxa, trocánter, fémur y tibiotarso cuyo ápice tiene un pretarso con 1-2 sedas, un ungues y por lo general un apéndice empodial. El tibiotarso de muchos géneros tiene sedas capitadas llamadas “tenent hairs”. En varias familias el pronoto está reducido y carece de sedas (Palacios, 2014).
- c) Abdomen: que puede ser deprimido, o comprimido como pequeños camarones y constituido por 6 segmentos, algunos de ellos pueden estar fusionados dependiendo de las familias (Hopkin, 1997, 2002). El abdomen lleva un tubo ventral (colóforo) en el primer segmento, un retináculo en el tercero que le sirve para fijar la fúrcula cuando está en reposo, la fúrcula en el cuarto (la fúrcula está formada por una parte basal llamada manubrio, un par de dentes en cuyo ápice está un mucrón en cada uno de ellos), la abertura genital en el quinto y la abertura anal en el sexto. La fúrcula les sirve para brincar y librarse de sus depredadores. El nombre de Collembola se deriva de la palabra griega “colla” que significa pegamento y “embolon”, pistón o tubo. Este característico tubo ventral del grupo o colóforo, es un tubo pegajoso de origen apendicular, que ellos usan para adherirse a las superficies lisas y es su carácter más distintivo (Palacios, 2014).

Otra estructura típica del grupo es la fúrcula, pero su desarrollo varía y las formas que viven en suelos profundos han perdido la capacidad de brincar y carecen de ella.

2.5.3. Pigmentación y forma de cuerpo

Los colémbolos pueden ser blancos, azules, grises, rojos, amarillos y varios son multicolores. Su cuerpo puede ser alargado (Fig. 1), o globoso (Fig. 2) y eso depende del grupo al que pertenecen y el ambiente en que viven. La mayoría respira por medio de la cutícula y pocas especies tienen tráqueas (Jordana, 1997). En los colémbolos es posible encontrar una gran variedad de colores, desde el blanco, azul, gris, morado y combinación entre ellos. Esta coloración se debe a la presencia de pigmentación y a las estructuras cuticulares y distribución de escamas (Vázquez y Palacios, 2004). Los pigmentos se encuentran en las células epidérmicas las cuales se haya debajo de la cutícula. (Christiansen y Bellinger, 1980). La cutícula en si misma suele ser incolora, aunque en algunos casos puede ser amarilla, azul o ámbar cuando es muy gruesa, como en las espinas anales de algunos Hypogastruridae (Stebaeva, 1988).

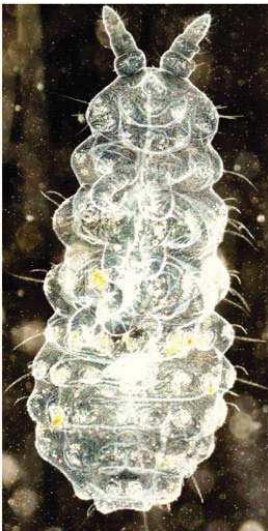


Figura 1. Orden Poduromorpha



Figura 2. Orden Neelipleona.

2.5.4. Cutícula

El cuerpo puede estar cubierto de sedas y escamas. Está cubierta cumple una función de defensa, protege al organismo de la pérdida de agua y deshidratación. El grado de desarrollo y modificación de las distintas estructuras de defensa está en

relación directa con las condiciones del medio en que habitan los organismos (Ghiralov y Semenova, 1963). La cutícula puede ir ornamentada por gránulos de distinto tamaño que llegan a formar figuras geométricas increíbles (Lawrence y Massoud, 1973).

2.6. Reproducción y desarrollo

La partenogénesis ha sido detectada en algunas especies de colémbolos y posiblemente su difusión es más amplia que lo que reflejan los casos descritos en la bibliografía. Ha sido señalada para *Folsomia candida* (Goto, 1960; Marshall y Kevan, 1962; Husson y Palevody, 1967; Palevody y Grimai, 1976). Cassagnau (1972) ha descrito en *Neanura mascorum* un tipo de partenogénesis geográfica. Asimismo se puede dar este modo de reproducción en algunas especies que aparecen en grandes cantidades formando agregados en los que sólo se encuentran hembras, como es el caso de ciertas especies de *Mesaphorura* (Jordana, 1997).

Por lo general siempre existen ambos sexos, hembras y machos; sin embargo, las diferencias morfológicas entre los sexos son pocas, excepto algunos casos particulares, en especial en las formas acuáticas (*Actaletidae*, *Coenaletidae*, y *Sminthurididae*). Se conocen varios casos de partenogénesis en *Mesaphorura*, *Neanura*, *Folsomia* e *Proisotoma*. Estudios recientes de Seira (*Entomobryidae*) de Brazil (Zeppelini y Bellini, 2006) mostraron machos con patas modificadas para un comportamiento agonístico. Una compilación del dimorfismo sexual fue realizada por Palacios-Vargas y Castaño-Meneses (2009).

A pesar de no existir cópula, la transferencia del espermatóforo se lleva a cabo con o sin un comportamiento ritual entre los dos sexos. Después, las hembras ponen paquetes de 8 a 50 huevos que tardan de unos días hasta 2 o más meses en eclosionar. Los juveniles nacen con el número de segmentos que tendrán cuando adultos (son epimórficos) y no sufren grandes cambios durante su desarrollo hasta llegar a adultos (ametábolos); sin embargo, cambian de cutícula toda su vida. Su ciclo de vida desde huevo hasta adulto varía entre 8 semanas hasta un año y

algunos pueden vivir hasta 3 años (Palacios, 2013).

2.7. Taxonomía

Kristensen (1981) y Tuxen (1980) hacen referencia a que los colémbolos están ubicados en la Subclase Apterygota, también se considera la unión de Collembola, Diplura y Protura en un solo taxa (Ectognatha), que representaría una rama paralela en la evolución del taxa Entognatha= Thysanura+Pterygota,. Conforme a lo anterior, las subclases Entognatha y Ectognatha constituyen la superclase Hexápoda.

Por otra parte, según Jordana (1997), la división de la Clase Insecta en dos subclases: Apterygota y Pterygota:

Sin embargo, se han hecho diferentes clasificaciones considerando las diferencias entre colémbolos y proturas, en lo que coinciden la mayor parte de los autores es en el nivel taxonómico. Jordana (1997) coincide con la clasificación de Cassagnau (1971), la cual se menciona a continuación:

CLASE INSECTA
GRUPO I: ENTOTROPHA
 SUBCLASE COLLEMBOLA
 SUBCLASE PROTURA
 SUBCLASE DIPLURA
GRUPO II: ECTOTROPHA
 SUBCLASE THYSANURA
 SUBCLASE PTERYGOTA

2.8. Sistemática

La sistemática de los Colémbolos ha cambiado mucho en los últimos años, no sólo a nivel de algunas familias donde se ha presentado reorganización de sus géneros, resultando en la formación de nuevos taxos a nivel de género y familia, sino por su exclusión de la clase insecta, arguyendo diferentes razones, entre ellas la presencia exclusiva dentro de los Colémbolos de apéndices abdominales que no se presentan en ningún insecto, el número corto de segmentos abdominales, tan solo seis frente a

los 10 o 12 de los insectos y por estudios a nivel filogenético (Palacios, 2004).

Los filogenetistas han desarrollado varias propuestas para reubicar a los Colémbolos dentro de una sistemática estandarizada, pero esta tarea se ha convertido en un verdadero reto, y aun hoy no existe un consenso general sobre la clasificación de estos organismos. Dentro de las propuestas expuestas hasta hoy encontramos la unión de Collembola, Protura y Diplura en una sola taxa, Entognatha, que representa una evolución paralela del taxa Ectognatha, que agrupa a los Thysanura y Pterygota (Christiansen, 1981; Tuxen, 1980); entonces, las clases antes mencionadas constituyen la superclase Hexápoda (Stebaeva, 1988).

Por su aspecto externo o hábitos, los colémbolos se dividen en dos grandes grupos: Arthropleona, colémbolos de cuerpo alargado y abdomen segmentado en una clara diferenciación entre los segmentos y Symphypleona, colémbolos de cuerpo globoso con los segmentos unidos o no diferenciados (Vázquez y Palacios, 2004).

Desde hace tiempo se considera a los colémbolos como una clase separada, con distintos argumentos, tanto morfológicos, como evidencias de análisis de biología molecular. Regier y Shultz (2011) hacen una propuesta de su posición con base en un análisis filogenómico de secuencias nucleares de proteínas. Bellinger et al. (2012) consideran que existen 4 órdenes dentro de esta clase: *Poduromorpha*, *Entomobryomorpha*, *Neelipleona* y *Symphypleona* (Palacios, 2013).

2.8.1. Arthropleona

Este grupo incluye el llamado colémbolos "lineales". Contiene la gran mayoría de las especies de colémbolos. Las especies de Arthropleona son muy diversas en su estructura. Arthropleona pueden dividirse en dos secciones, ya que presentan bien las divisiones de los tagmas. Se clasifica en, Poduromorpha, incluyendo *Poduridae*, *Hypogastruridae*, *Onychiuridae* y Entomobryomorpha, incluyendo, *Isotomidae* y *Entomobryidae*. (Christiansen y Bellinger, 1980).

Familia *Poduridae*

Esta familia contiene una sola especie, *Podura aquatica* L., una especie que vive en la superficie de estanques de agua dulce. Su tamaño es de aproximadamente 1.3 mm de longitud, y de color azul oscuro a marrón. Esta familia está considerada estar más estrechamente relacionada a la Sminthuridae y Neelidae (Triplehorn y Johnson, 2005).

Familia Hypogastruridae

Los miembros de esta familia, miden de 1-2 mm de largo, con apéndices cortos (a veces con la fúrcula pequeña e incluso carece de ella), y con diferentes tonalidades que van desde del blanco, beige, morado, azul y verde, al negro. Esta familia es la mayor del orden, con 234 especies de América del Norte. La pulga de nieve, *Hypogastrura niviicola* (Fitch), es una especie de color oscuro y se encuentra a menudo en pastos o en algas y a veces en esporas de hongos, donde no hay nieve durante el invierno. A veces es una plaga en maple ya que succiona savia. *Neanura muscorum* (Templeton) es una especie de forma plana con segmentos corporales bien definidos y lóbulos con setas cortas y fuertes, carece de una fúrcula, y vive debajo de la corteza suelta, en madera de enraizamiento, o en hojarasca. Se alimenta de los líquidos internos de los hongos y sus partes bucales están formadas en un cono. *Anurida maritima* (Guerin), es una especie de color azul, que a veces es muy abundante a lo largo de la costa norte del Atlántico, y se encuentra en la superficie de las pequeñas arroyos, debajo de piedras y conchas (Triplehorn y Johnson, 2005).

Familia Onychiuridae

Los miembros de esta familia (85 especies norteamericanas) son algo similares a familia Hypogastruridae. Sin embargo, tienen diferencias marcadas entre cada familia como es la falta de pigmentación, carencia de ojos, y una pequeña fúrcula. Se caracterizan por tener pseudocelle, distribuidas debajo de las antenas, la cabeza y segmentos troncales. Cuando se les molesta, estas criaturas son capaces de exudar secreciones nocivas o tóxicas a través del pseudocelle. En las especies de

Tullbergia y *Onychiurus* se ha demostrado la partenogénesis. Esta forma de reproducción es probablemente común entre estas especies que viven en el suelo. Los miembros de la Onychiuridae se encuentran en abundancia en los suelos agrícolas y forestales (Triplehorn y Johnson, 2005).

Familia Isotomidae

Está compuesta por 197 especies en América del Norte, los miembros de esta amplia familia son de color blanco, amarillo y verde a azul, marrón y violeta oscuro con rayas longitudinales o bandas transversales. A menudo se encuentran en grandes cantidades, *Isotomurus tricolor* (Packard), es una especie muy común que se encuentra en los pantanos, así como los bordes del bosque húmedo, y a veces en las lagunas de agua dulce. *MettProisotoma grandiceps* (Reuter) es un colémbolo carnívoros. *Proisotoma propinqua* Axelson es una de las especies que exhiben ecomorfosis, el cual es un fenómeno en donde la especie difiere morfológicamente cuando se desarrollan a temperaturas bajas (Triplehorn y Johnson, 2005)

Familia Entomobryidae

Este grupo presenta una gran cantidad de especies (138 especies de Norteamérica) de colémbolos tienen un gran cuarto segmento abdominal. Además, algunas especies tienen setas robustas, escamas, antenas y patas muy largas, y las combinaciones de color llamativo. *Orchesella hexfasciata* Harvey es una especie común de color amarillo con marcas púrpuras, y se encuentra en la hojarasca y debajo de la corteza. *Lepidocyrtus paradoxus* Uzel es una especie de color azul oscuro con un cuerpo reducido y el segmento del mesotórax amplio, dándole la apariencia de ser "jorobado". Otra especie, *Willowsia nigromaculata* (Lubbock) se encuentra en estrecha relación con las viviendas humanas por sus hábitats. Se trata de una familia muy diversa, lo que probablemente se dividirá en varias familias (Triplehorn y Johnson, 2005)

Familia Paronellidae

En esta familia los segmentos abdominales cuarto es muy alargada. No hay especies de amplia distribución Neártica, todos son del género *Salina*. (Triplehorn y Johnson, 2005)

2.8.2 Symphypleona

Este grupo incluye los colémbolos "globulares". Se trata de un grupo más pequeño que el Arthropleona y de diferentes hábitats. Los cuatro primeros segmentos abdominales están completamente fusionados, y los límites de los segmentos torácicos y abdominales posteriores también suelen ser no tan visibles; la fúrcula y el tenáculo siempre están bien desarrollados. El tegumento es liso; setas son relativamente escasas, y las escamas simples están ausentes. En Neelidae el tórax constituye la mayor parte del tronco, mientras que un Sminthuridae el abdomen es la región más grande del cuerpo (Christiansen y Bellinger, 1980).

Subfamilia Neanuridae

La ausencia de la placa molar, y a veces la mandíbula, distingue a este grupo del resto de colémbolos en América del Norte. El grupo es probablemente polifilético. Los dos últimos segmentos antenales son fusionados dorsalmente; los unguículos son en forma de setas o están ausentes; las espinas anales, si están presentes, casi siempre son setas ampliadas. La sistematica del grupo se le ha dado en base al buen trabajo de Massoud (1967), ya que utilizó como base la estructura de las piezas bucales, para la distinción de los géneros *Odontella*, *Brachystomella* y *Friesea* (Christiansen y Bellinger, 1980).

Familia Neelidae

Este es un grupo pequeño (siete especies en Norteamérica) de colémbolos su tamaño es pequeño, oscila entre 0.27 a 0.70 mm de longitud, y se han recogido en

zonas boscosas y cuevas. La mayoría de las especies se encuentran en los suelos orgánicos, cuevas, o debajo de la corteza. Carecen de ojos y las antenas reducen su extensión a menos que el diámetro de la cabeza y los dientes del manubrio están divididos en dos partes. Un proceso apical ventral en el manubrio y un proceso dental basal forman una articulación complementaria entre estos 2 segmentos. Varios miembros de la familia se pigmentan, pero la mayoría son incoloros. El tórax es relativamente grande, dando al animal una forma de semilla. *Minimus megalothorax* (Willem) es una de las especies más comunes, alcanzando una longitud de 0,4 mm (Triplehorn y Johnson, 2005).

Familia Sminthuridae

Estos colémbolos (más de 100 especies en América del Norte), varían en tamaño desde 0.75 hasta 3 mm, son de cuerpo en forma ovalada. Muchas especies son comunes en la vegetación: algunos, como *Bourletiella hortensis*, pueden ser plagas en los jardines. Otros, como *Sminthurus viridis* L., puede ser devastador en la alfalfa en Nueva Zelanda y Australia. Todavía otros viven bajo piedras o en la espalda o en la hojarasca, y algunos se encuentran en la superficie de los estanques de agua dulce. En situaciones de bosque, *Ptenothrix atra* (L.) y *P. marmorata* (Packard) viven en los conos de pinos viejos. Muchas especies tienen una forma de apareamiento especial (Triplehorn y Johnson, 2005).

Familia Mackenziellidae

Los miembros de esta familia tienen una relación lineal, en lugar de un cuerpo globular, fusión incompleta de los segmentos, y setas uniformes. Solo hay un especie conocida la cual es *Mackenziella psocoides* Hammer, se describe desde el norte de Canadá, pero también se encuentra en Alemania, Noruega y las Islas Canarias (Triplehorn y Johnson, 2005).

Familia Tomoceridae

Los miembros de esta familia tienen escamas gruesas y setas ciliadas

multilateralmente. El cuarto segmento abdominal es menor o casi igual a la longitud de la tercero. Hay 16 especies en la región Neártica. Las especies del género *Tomocerus flavescens* (Tullberg) y *T. alarga* Maynard se encuentran comúnmente en la hojarasca y debajo de la corteza. Son principalmente nocturnos (Triplehorn y Johnson, 2005).

Familia Cyphoderidae

Los miembros de esta familia se pueden distinguir de los entomobryidos por la ausencia combinada de ocelos, ondulaciones dentales y espinas dentales. Son facultativas o comensales obligatorios de los insectos sociales. Algunas formas tropicales son de México, con patas altamente modificadas. Sólo una especie *Cyphoderus similis* Folsom, se produce en los Estados Unidos. Se encuentra ampliamente distribuida (California, Iowa, Massachusetts, New Jersey y Louisiana), por lo general en asociación con las hormigas (Triplehorn y Johnson, 2005).

Familia Oncopoduridae

Los miembros de esta familia tienen escamas claras, hialinas y setas ciliadas multilateralmente. La fúrcula tiene escamas densas ventralmente y setas simples y ciliadas dorsalmente. El retináculo es quadridentado, y todas las especies Neárticas tienen una fila de setas dorsales contundentemente en el cuarto segmento abdominal. Hay dos géneros: *Harlomillisia*, con una especie, *H. oculata* Mills (Florida, Georgia, Carolina del Norte, Oregon, Tennessee, y Maryland), y *Oncopodura* con 11 especies, que se encuentra en la hojarasca, suelos y cuevas (Triplehorn and Johnson, 2005).

2.9. Ciclos biogeoquímicos de suelos

Porta (2014) menciona que los suelos son unidades multifuncionales resultantes de la acción combinada de diversos factores formadores que definen el tipo e intensidad de los procesos edafogénicos. La importancia de los distintos factores varía de unos suelos a otros y a lo largo del tiempo. Los principales factores son:

- Roca: roca madre, material originario o material parental a partir del cual se forma el suelo.
- Clima: aporta agua y energía al material originario, con lo que contribuye a que vayan cambiando sus características (procesos de meteorización).
- Organismos vivos: actúan sobre la roca o material originario contribuyendo a su disgregación y mezcla.
- Geomorfología: posición que ocupa el suelo en el paisaje (sitio), permite explicar que las características de los suelos sean diferentes en las distintas formas del terreno.
- Tiempo: la acción de los distintos factores se prolonga a lo largo de cientos o miles de años.

En el caso de los microorganismos, en el suelo los microorganismos actúan como reactores, por lo que gracias a ellos tienen lugar una serie de procesos que evitan que los componentes orgánicos se acumulen indefinidamente. Esto hace posible la existencia de ciclos de elementos en la naturaleza. (Porta, 1994).

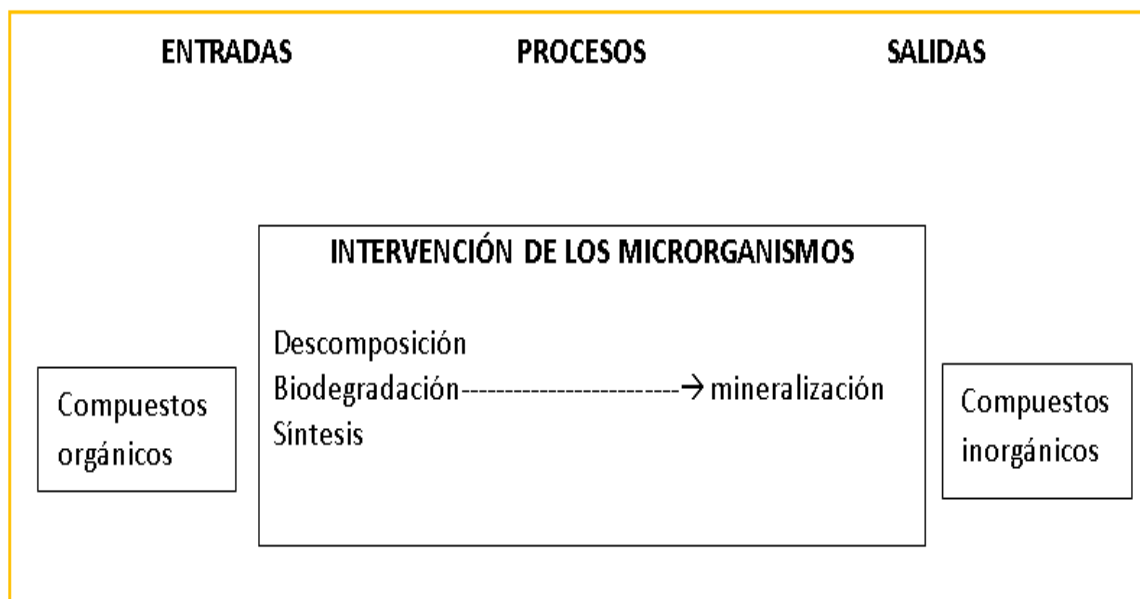


Figura 3. Ciclos biogeoquímicos. (Porta, 1994)

En el ciclo biogeoquímico de un elemento, este sufre cambios en su estado de oxidación y se mueve de un compartimiento a otro del sistema. El potencial de un ecosistema para actuar en el ciclo biogeoquímico depende de las características cualitativas y cuantitativas de los microorganismos. (Porta, 1994).

Los microorganismos desempeñan un papel muy importante en el ciclo al degradar y sintetizar compuestos orgánicos y porque al morir liberan energía de sus constituyentes que vuelve a ser disponible para el crecimiento de nuevos organismos en el sistema. (Porta, 1994).

Los microorganismos intervienen en la descomposición, mineralización y evolución de la materia orgánica del suelo. Si el medio es ácido habrá un predominio de hongos frente a bacterias, que se desarrollan mejor en medios básicos. Por ello, la evolución de la materia orgánica variará de unos suelos a otros, según las condiciones del medio.

2.9.1. Ciclo de elementos: caso Carbono

El ciclo del carbono es el más importante desde el punto de vista cuantitativo y los organismos vivos desempeñan un destacado papel en él. (Porta, 1994)

Los organismos fotótrofos fijan C procedente de CO_2 atmosférico, que pasa a formar parte de los tejidos vegetales y de los microorganismos en forma de C-orgánico. Los organismos organótrofos utilizan estos compuestos orgánicos como alimento, sus restos y residuos, al ser mineralizados, liberan CO_2 con los que se cierra el ciclo. (Porta, 1994).

La mayor parte del carbono del suelo se halla formado parte de las sustancias húmicas. En el ciclo intervienen una serie de reacciones redox que en mayor o menor medida están catalizadas por microorganismos. La biodegradación de los compuestos orgánicos proporciona energía, cuyo almacenamiento y liberación deben ser regulados adecuadamente para que pueda ser aprovechada de forma efectiva en el crecimiento de los organismos. Así, el sistema ADP/ATP permite este tipo de regulación que en el caso de la degradación de la celulosa (celulolisis). (Porta, 1994)

La celulolisis depende del contenido de N disponible para la actividad microbiana, temperatura, aireación, humedad, pH, presencia de otros carbohidratos y la proporción relativa de lignina en los restos vegetales (Porta, 1994).

2.9.2. Nitrógeno

Normalmente del 97 al 99% del nitrógeno total del suelo se encuentra en formas orgánicas muy complejas; por ello la materia orgánica al mineralizarse libera nutrientes entre ellos nitrógeno, responsable de la alta correlación comúnmente encontrada entre el contenido de materia orgánica del suelo y su fertilidad. (Alcántar et al., 2006).

Una buena parte de la materia orgánica del suelo pueden constituir los propios microorganismos presentes en él; por ello su destrucción temporal como ocurre con la fumigación mineralizará los nutrientes contenidos en ellos y elevará la fertilidad del suelo (Alcántar et al., 2013).

La relación carbono/nitrógeno, en términos generales puede decirse que si la relación de C/N es mayor de 30, no hay una liberación inmediata de nitrógeno aprovechable para el suelo; por el contrario, si dicha relación es menor de 20, algo de nitrógeno se mineraliza quedando disponible a las plantas (Alcantar et al., 2006).

2.9.3. Fósforo

El fósforo orgánico requiere de mineralización para pasar a formas aprovechables para las plantas. Esta mineralización ocurre por acción de las enzimas llamadas fosfatasas y está influenciada por la temperatura, pH, la aireación, la naturaleza de la materia orgánica; si por el contrario, dicha relación es igual o mayor de 300 ocurrirá una inmovilización neta del fósforo inorgánico durante el mismo proceso (Havlin et al., 1999) (Alcantar et al., 2006).

El fósforo orgánico que ha sido identificado específicamente en el suelo se encuentra, sobre todo, bajo tres formas más o menos degradadas: fosfolípidos, ácidos nucleicos y fitina y derivados. Constituyen, junto a otros compuestos no

identificados, entre el 20 y 80 % del fósforo total del suelo, pero su proporción en la disolución del suelo es probablemente pequeña (Navarro, 2003).

El azufre es un elemento abundante a lo largo de la corteza terrestre. Se encuentra disponible como sulfato soluble o en compuestos orgánicos. En la biosfera se produce la reducción del azufre a SH_2 por obra de microorganismos. Salvo en la situaciones de anaerobiosis se oxida rápidamente de forma espontánea.

2.9.4. Azufre

El azufre lo asimilan las plantas y microorganismos, el sulfato los absorben del suelo reduciéndolo y asimilándolo como SH . Los animales no pueden realizar esta operación y ya deben recibir el azufre en su forma reducida (aminoácidos azufrados) (Navarro, 2003).

2.10. El pH y los organismos del suelo

En lo que respecta a los microorganismos, está suficientemente reconocido que las bacterias y los actinomicetos actúan mejor en suelos minerales con valores de pH intermedios y elevados. Su actividad se reduce notablemente cuando el pH es inferior a 5.5. La nitrificación y la fijación del nitrógeno atmosférico, por ejemplo, sólo se producen cuando el pH es superior a 5; y la aminización y amonificación se reducen considerablemente a pH más bajos. Una notable excepción, no obstante, se presenta con las bacterias que oxidan el azufre, las cuales parecen indiferentes a la reacción que pueda presentar el suelo. Los hongos son, también, facultativos (Navarro, 2003).

La elevada acidez de los suelos se ha mostrado, también, que inhibe el desarrollo de las lombrices en los suelos (Navarro, 2003).

En las plantas superiores, y debido a los muchos factores fisiológicos que intervienen, es muy difícil correlacionar con alguna exactitud su desarrollo óptimo con el pH del suelo. Por otra parte, las plantas crecen dentro de intervalos de pH muy amplios, lo cual dificulta el poder determinar la reacción más adecuada (Navarro, 2003).

3. METODOLOGIA

3.1. Fase de campo

3.1.1. Localización

El presente trabajo se realizó en la localidad de Tequexquihuac, perteneciente al municipio de Texcoco, Edo. De México. De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1981), el clima se clasifica como C (Wo) (w) b (í) g. Este es templado subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 15.8°C y una precipitación media anual de 650 mm (Inegi, 1995). Sus vientos dominantes son del sur. Se observan varios tipos de vegetación como son los bosques de pino conformados por: *Pinus montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. hartwegii* y *P. leiophylla*. Se encuentra también *Abies religiosa* y *Cupressus sp.*, además especies de latifoliadas como *Senecio praecox*, *Quercus rugosa*, *Arbutus glandulosa*, entre otros. En los terrenos con menor pendiente se encuentran extensiones de áreas agrícolas de temporal en las cuales los cultivos tradicionalmente han sido: maíz, trigo, avena, cebada y frijol (<http://siglo.inafed.gob.mx>).

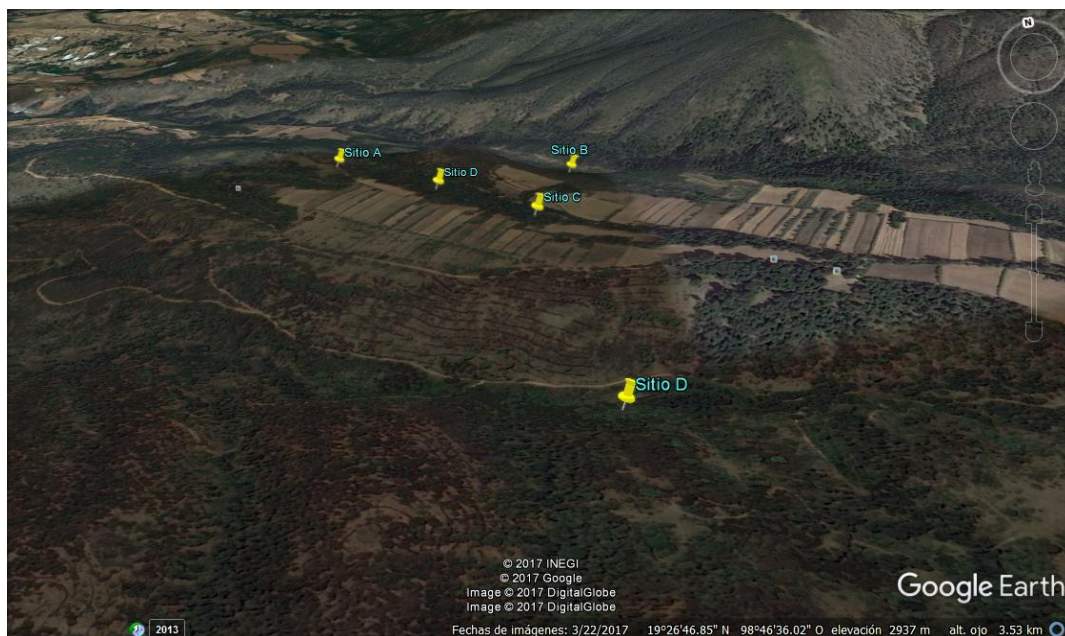


Fig. 4 Ubicación del monte “Tláloc” del municipio de Texcoco, Estado de México.

3.1.2. Muestreo

Se zonifico una porción del bosque de encino el "Tlálloc" (Figura 4), abarcado diferentes altitudes en 5 sitios diferentes (A, B, C, D, y E). En cada sitio de muestreo se marcó un cuadrante de 100 m² y esta a su vez se subdividió en cuadrantes de 1 m² cada una, posteriormente se eligieron cinco puntos de colecta los cuales fueron elegidos por números aleatorios del 1 al 100 sin repetición para evitar muestrear dos o más veces el mismo número de subcuadrantes.

Se colecto la hojarasca marcando un cuadro de 6.5 x 6.5 cm y posteriormente se colectó el suelo en el mismo punto con una barrena de 8 cm de diámetro, hasta una profundidad de 10 cm.

Se realizaron 8 colectas en 5 sitios y fechas diferentes (cuadro 1) de hojarasca como de suelo, y posteriormente se llevaron a laboratorio de Micro y Mesofauna del Suelo del Área de Biología del departamento de Preparatoria Agrícola, de la Universidad Autónoma Chapingo.

Cuadro 1. Características generales de los sitios de colecta en un gradiente altitudinal en el Tlálloc, Texcoco, Estado de México, México

Sitio	Ubicación geográfica		Altura (m)	Bosque	Particularidad
A	19°27'11" N	98°46'58" O	2868 MSNM	Encino y pino	Incendio en 1998 y reforestación con <i>Pinus</i> sp
B	19°27'08" N	98°46'57" O	2865 MSNM	Encino y matorrales	Incendio en 1998 y sin reforestar
C	19°26'56" N	98°46'57" O	2877 MSNM	Bosque de encino y pino	Sin incendio y reforestación con <i>Pinus</i> sp
D	19°26'39" N	98°46'27" O	2944 MSNM	Bosque de encino	Sin incendio ni reforestación
E	19°26'22" N	98°46'12" O	3020 MSNM	Bosque de encino	Sin incendio ni reforestación

3.2. Fase de laboratorio

Una vez teniendo las muestras en el laboratorio, se utilizó el embudo de Berlesse-Tullgreen, este es utilizado para extraer la mesofauna activa que habita en las muestras de suelo y en la hojarasca; y es uno de los métodos más eficientes para los estudios cualitativos y cuantitativos de muestras de hojarasca y suelo.

El principio por el cual funciona el método para la extracción de colémbolos se basa en el fototropismo negativo que presentan estos organismos y en su capacidad de movimiento hacia las capas profundas del suelo u hojarasca conforme se van secando las capas superiores.

Aprovechando esta característica de los colémbolos edáficos se depositaron las muestras sobre una malla colocada en la parte superior de un embudo de lámina, y en la parte inferior se colocó un recipiente con líquido fijador (alcohol de 96%).

Una vez que la muestra se secó, los organismos resbalaron por las paredes del embudo hasta caer en el líquido fijador, esto fue durante 14 días. Finalmente se realizó el montaje de los organismos colectados y se realizó la identificación y clasificación de los colémbolos.

Los organismos colectados se cuantificaron y clasificaron bajo el microscopio estereoscópico a taxa, familias y géneros.

3.3. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para determinar estadísticamente en que biotopo se desarrollan mejor las comunidades de colémbolos (Abundancia), si como para determinar que biota es mejor, para esto se utilizó el Software SAS Versión 9.00. Las abundancias se transformaron $Y = (x + 0.5)^{1/2}$, debido a que en diferentes colectas y sitios no se encontraron colémbolos (ceros en las colectas).

También se realizaron regresiones lineales para encontrar la relación entre los factores químicos del suelo y hojarasca con la comunidad de colémbolos.

3.3.1. Variables de estudio

Se evaluaron factores físicos y químicos, en el caso de suelo de los factores químicas fueron:

- PH (1:2)
- MO (%)
- N (mg kg⁻¹)*
- P (MG KG⁻¹)

En el caso de hojarasca los factores fueron:

- Nitrógeno (%)
- Fenoles (%)
- Carbono (%)

En ambos casos los factores físicos fueron las características del tipo de vegetación que presentan los sitios donde se tomaron las muestras, estos se describen a continuación:

Sitio A: Quemado y reforestado

Sitio B: Quemado

Sitio C: Bosque joven con encino y pinos

Sitio D: Encinos con pinos maduros

Sitio E: Encinos

3.3 Índice de diversidad

La diversidad se evaluó por medio del índice de diversidad de Shannon-Wiener (Begon et al., 1999) usando la siguiente ecuación:

$$H' = -\sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

S= número total de especies en la comunidad (es decir la riqueza).

En estas condiciones, se puede decir que: H presenta el mayor valor cuando las probabilidades p_i (en biología, razón entre el número de individuos por especie y el total) para cada evento cuando iguales, es el más bajo valor (cero) cuando p_i de por lo menos uno de los eventos sea cero; H máx es igual a $\log_2$ del número de dígitos del mensaje (s), o sea, $H_{\text{máx}} = \log s$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 *Abundancia general*

Durante las ocho fechas de colecta realizadas en el bosque “Tlálloc”, Tequexquinahuac, durante todo el periodo de estudio se encontraron un total de 5 familias y 31 géneros en la hojarasca. En el suelo se encontraron las cinco familias y cinco géneros. En el Cuadro 2 se enlistan los nombres de las familias y géneros encontrados así como su respectiva abundancia, el número total de colémbolos.

Cuadro 2. Familias y géneros de *Collembola* recolectadas en muestras de hojarasca y suelo provenientes del bosque “Tlaloc” en cinco sitios diferentes del municipio de Texcoco, Estado de México.

Familia (Hojarasca)	Genero	No.	Familia (hojarasca)	Genero	No.
Entomobryidae	<i>Lepidocyrtus</i>	1541	Isotomidae	<i>Proisotoma</i>	1891
	<i>Orchesella</i>	187		<i>Isotomiella</i>	178
	<i>Entomobrya</i>	164	Onychiuridae	<i>Onychiurus</i>	77
	<i>Americabrya</i>	65		<i>Mesaphorura</i>	15
	<i>Willowsia</i>	44		<i>Protaphura</i>	20
	<i>Seira</i>	17		<i>Tullbergia</i>	14
	<i>Pseudosinella</i>	10		<i>Rotaphorura</i>	12
	<i>Tomocerus</i>	11	Sminthuridae	<i>Sminthurus</i>	78
	<i>Salina</i>	4		<i>Sminthurides</i>	60
	<i>Sinella</i>	3		<i>Arrhopalites</i>	44
	<i>Corynothrix</i>	2		<i>Neosminthurus</i>	39
	<i>Heteromorus</i>	1		<i>Dicyrtoma</i>	5
Brachistomellidae	<i>Brachistomella</i>	632		<i>Sminthurinus</i>	1
	<i>Neotropiella</i>	31	Familia (suelo)	Genero	No.
	<i>Rapoportella</i>	23			
	<i>Odontella</i>	19			
	<i>Paranura</i>	15			
	<i>Xenyllodes</i>	2			
			Isotomidae	<i>Proisotoma</i>	242
			Entomobryidae	<i>Lepidocyrtus</i>	205
			Onychiuridae	<i>Mesaphorura</i>	91
			Brachistomellidae	<i>Brachistomella</i>	31
			Sminthuridae	<i>Sminthurus</i>	27

Se obtuvieron un total de 5, 801 colémbolos de los cuales el 90% (5, 205), pertenecen a la hojarasca, y el 10% (596 colémbolos) se encontraron en el suelo.

Los géneros con mayor abundancia relativa en la hojarasca fueron: *Proisotoma* (33%) (Cuadro 2), *Lepidocyrtus* (25%), *Brachistomella* (12 %), *Orchesella* (3.5 %) y *Isotomiella* (3.4 %) mismos que constituyen el 90 % de los colémbolos extraídos.

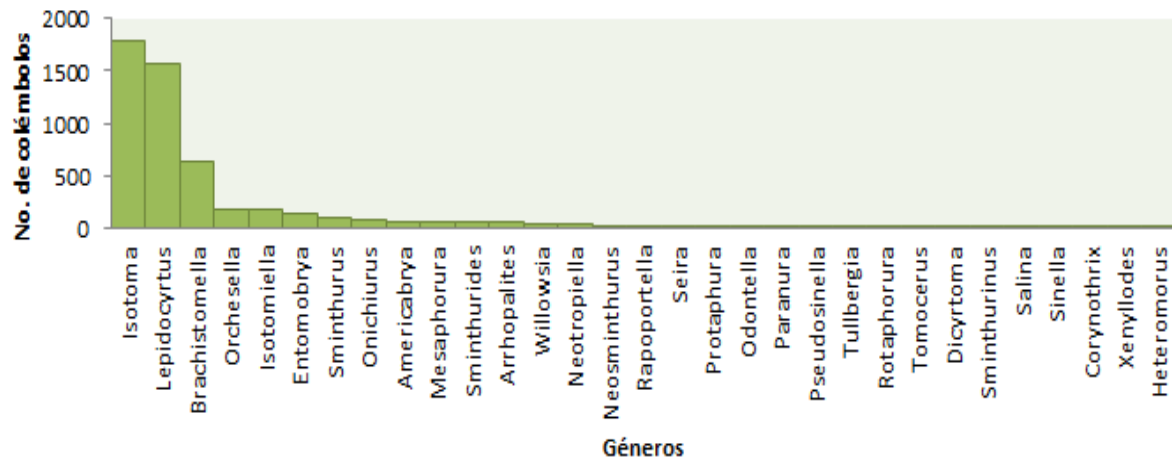


Fig. 5. Abundancia de Géneros en el biotopo hojarasca

Los individuos con mayor abundancia relativa en el suelo fueron: *Proisotoma* (46 %), *Lepidocyrtus* (34 %), *Mesaphorura* (12 %), *Brachistomella* (5 %) y *Sminthurus* (3 %).

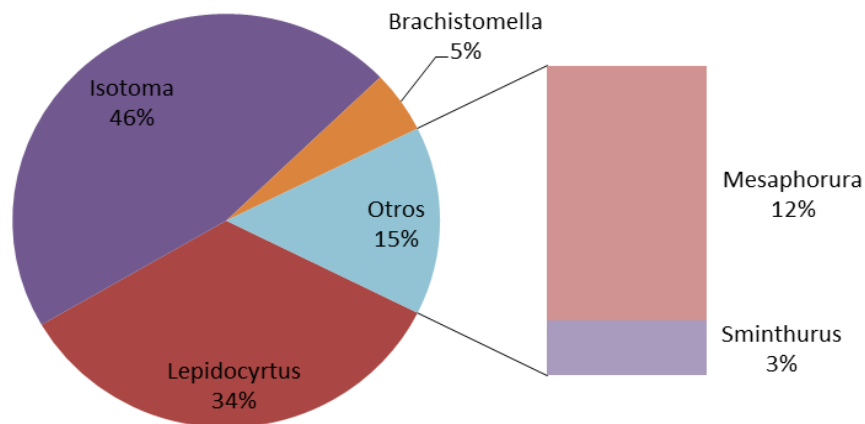


Fig. 6. Distribución de Géneros en el biotopo en el suelo

Estadísticamente las especies con mayor abundancia de colémbolos son S2 (*Proisotoma*) y S1 (*Lepidocyrtus*) en ambos biotopos, por lo que estas especies predominan de forma significativa a las demás (alfa=0.05).

Significativamente, la abundancia de los colémbolos de la hojarasca fue mayor a la

del suelo ($\alpha=0.05$), ya que estos son consumidores importantes de los hongos que participan en la descomposición de la hojarasca, así como de la misma hojarasca (Addison et al., 2003). Al consumir estos organismos se liberan al medio los elementos que son aprovechados en primera instancia por los colémbolos para formar su propia biomasa y reproducirse. La quitina que contienen los hongos alcanza hasta 7% de nitrógeno, el cual puede ser aprovechado por las plantas (Hülya et al., 2010).

Barrios (2007) hace referencia a que algunas especies de ácaros y colémbolos se han registrado por su respuesta a cambios en el suelo debidos a acciones antrópicas (Barbercheck et al., 2009; Koehler y Melecis, 2010; Bedano et al., 2011; Peredo et al., 2012). A la vez, se ha demostrado que el estudio de estas poblaciones permite relacionar su composición con características físico-químicas del suelo y con el tipo de vegetación que sustenta.

4.2 abundancia por fecha de colectas

Se realizaron ocho colectas cada dos meses, se encontró en el análisis estadístico que la abundancia de colémbolos en hojarasca es significativamente mayor que la abundancia de colémbolos de suelo ($\alpha=0.05$), las colectas con mayor abundancia fueron la IV (Abril del 2010), VI (Agosto del 2010) y la V (junio 2010).

El mes de abril presento la abundancia más alta en hojarasca que coincide con la humedad más baja (mm de precipitación) pero también con el aumento de temperatura esto podría explicarse debido a que son las condiciones que más favorecen al desarrollo de estos organismos. De junio a octubre (meses con mayor humedad) es temporada de lluvias con temperatura menor a los dos meses anteriores, lo que coincide con la menor abundancia de colémbolos en los dos biotopos, la lluvia puede provocar lavado de colémbolos por que el tamaño de la gota puede ir de 0.85 mm las más pequeñas hasta gotas mayores de 5.1 mm (Saldívar, 2012).

Cuadro 4. Comparación de medias de la abundancia de colémbolos en los ocho fecha de colecta del biotopo suelo. (Tukey, $\alpha=0.05$, $n= 2480$).

Fecha de colecta	Promedio
III	1.658 A
IV	1.308 A
V	1.032 AB
VI	0.906 ABC
II	0.367 BCD
VII	0.314 BCD
I	0.137 CD
VIII	0.023 D

En el caso de suelo la colecta VI fue significativamente más abundante. La explicación es que la población de colémbolos en hojarasca aumentó y en el suelo se dio esta misma tendencia (ver grafica 7 y 8) esto se explica porque en estas fechas debe haber demasiada humedad acumulada y no es temporada de lluvia por lo tanto esto origina un migracion a capas del suelo más profundas (Fig. 7 y 8).

Cuadro 5. Comparación de medias de la abundancia de colémbolos en los ocho fecha de colecta del biotopo suelo. (Tukey, $\alpha=0.05$, $n= 2480$).

Fecha de colecta	Promedio
VI	0.27 A
IV	0.188 AB
VIII	0.095 AB
V	0.09 AB
II	0.059 AB
I	0.027 B
I	0.021 B
VII	0.018 B

Según Árbea y Blasco (2001), la humedad y la temperatura son factores determinantes del hábitat óptimo de los colémbolos, ya que influyen en la tasa de

reproducción y crecimiento de los individuos, y en su distribución vertical a lo largo de un perfil.

Se conoce que los colémbolos son animales muy sensibles a la reducción de humedad en el medio (Farahat, 1966), ya que entre otras cosas disminuyen a los hongos de los que se alimentan.

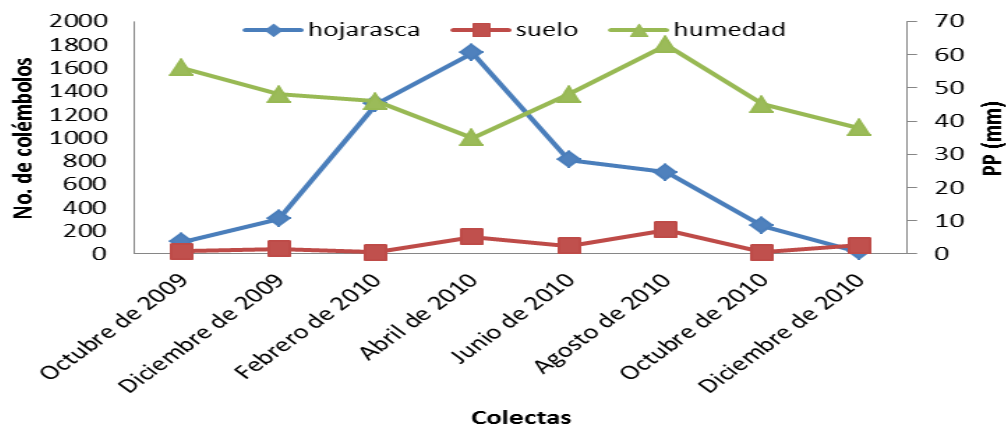


Fig. 7. Abundancia de colémbolos en suelo y hojarasca relacionados con la humedad del lugar.

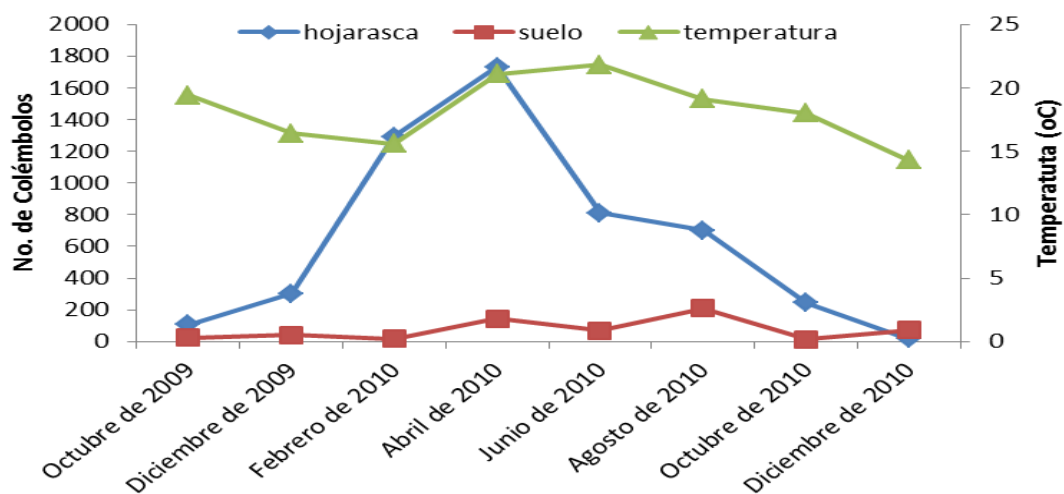


Fig. 8. Abundancia de colémbolos en suelo y hojarasca relacionados con temperatura del lugar.

4.2 abundancia por sitios de sitio

La abundancia de colémbolos en este trabajo muestran que los sitios B y C son significativamente mejores a los demás sitios, ya que presentan mayor abundancia en todas las fechas de colecta ($\alpha = 0.05$), en este caso se evaluó el comportamiento de los colémbolos de acuerdo a tipo de vegetación del sitio.

Cuadro 6. Comparación de medias de la abundancia de colémbolos en dos biotopos en los cinco sitios de colecta. (Tukey, $\alpha=0.05$, $n= 2480$).

Sitio	Promedio
B	0.481 A
C	0.554 A
D	0.482 AB
A	0.223 B
E	0.296 B

En cuanto al suelo, el sitio B (quemado) presentó una mayor abundancia (significativa con un α de 0.05) se puede explicar que aun que el incendio pudo haber alterado la comunidad de colémbolos (según Ulery et al., 1993, el incendio altera el ciclo biológico de los nutrientes y a una acumulación, en las cenizas, de los demás nutrientes, en forma de óxidos, carbonatos o sulfatos procedentes de la combustión tanto de la vegetación del sotobosque como del ramaje de los árboles), la cantidad de hojarasca es reducida, por lo que la humedad se ve reducida en la capa superficial del suelo y emigran a las capas más profundas. Además, en otros sitios había mayor cantidad de hojarasca por las condiciones naturales del bosque, lo que demuestra la preferencia de los colémbolos a ese biotopo.

Cuadro 7. Comparación de medias de la abundancia de colémbolos en los cinco sitios de colecta del biotopo suelo. (Tukey, $\alpha=0.05$, $n= 2480$).

Sitio	Promedio
B	0.19 A
C	0.137 AB
D	0.064 AB
A	0.064 AB
E	0.026 B

En el caso de hojarasca, el análisis de varianza nos mostró que el sitio C y D son significativamente mejor comparado con los demás sitios, ya que hubo una mayor abundancia de colémbolos en estos lugares. El sitio C cuenta con hojarasca más heterogénea, lo que permite el desarrollo de una comunidad de colémbolos más diversa, debido a que esta porción del bosque no fue quemada y fue reforestada con árboles de *Pinus sp.* Por lo que el estrato de vegetación es bajo en este sitio se encontró una mezcla de árboles de encino y arbustos, lo cual generó una hojarasca heterogénea y por lo tanto mayor fuente de alimento para los diferentes géneros de colémbolos.

Cuadro 8. Comparación de medias de la abundancia de colémbolos en los cinco sitios de colecta del biotopo hojarasca. (Tukey, $\alpha=0.05$, $n= 6\ 200$).

Sitio	Promedio
C	1.044 A
D	0.9 A
B	0.773 AB
E	0.454 AB
A	0.421 B

En el caso del sitio D (sin quemar ni reforestar), la abundancia se debe a que no hubo perturbación en ese lugar, por lo que las comunidades de colémbolos tampoco se ven afectados.

4.3 Índice de diversidad

La diversidad se calculó mediante el índice de Shannon- Weaver, en donde la hojarasca obtuvo el mayor valor con 4.36 y el suelo con 3.87. (Figura. 12 y 13).

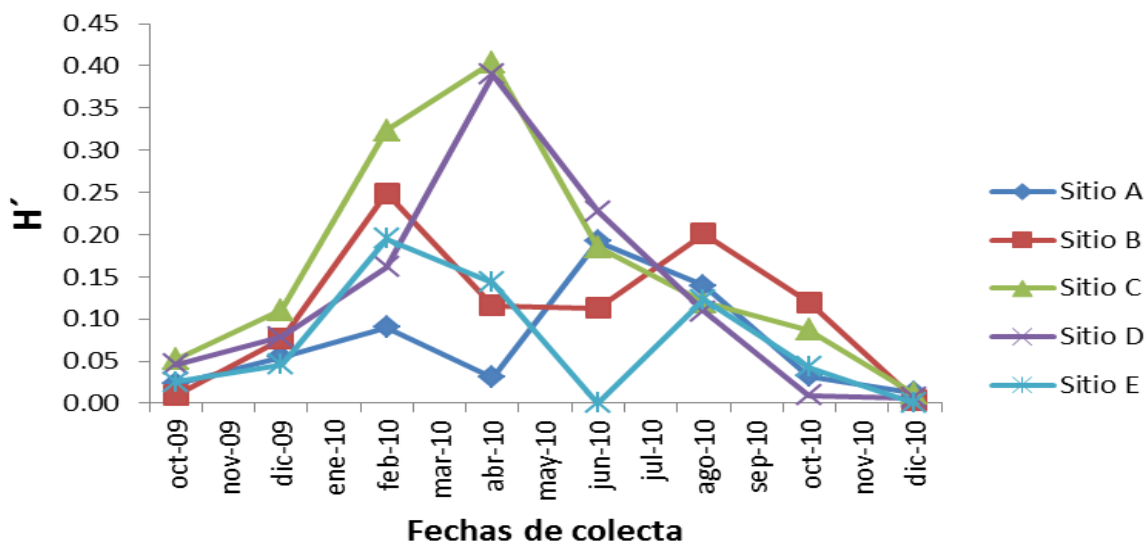


Figura 9. Índice de diversidad para hojarasca.

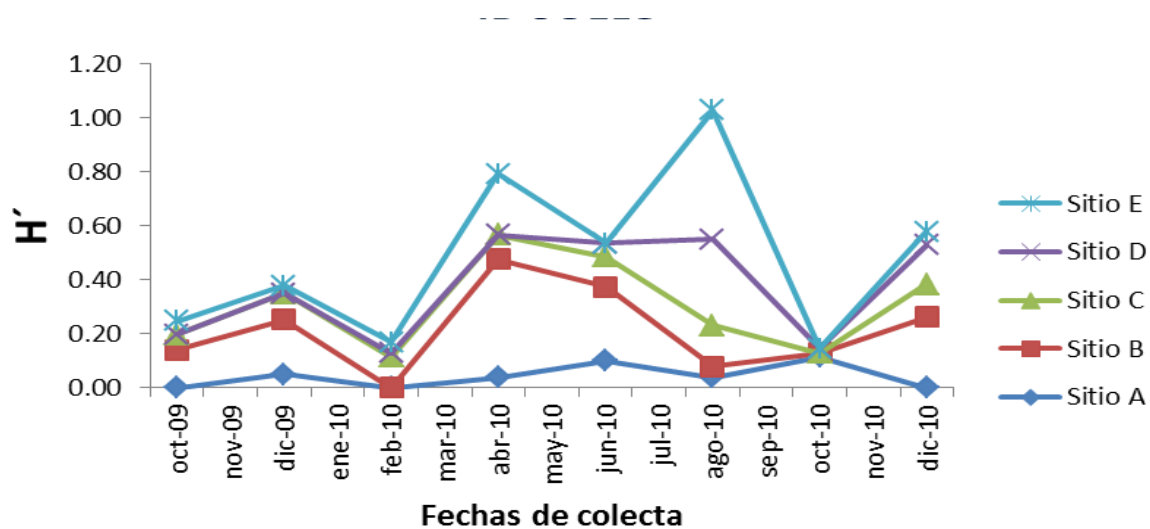


Figura 10. Índice de diversidad para suelo.

El índice de diversidad fue mayor en hojarasca en comparación con el suelo, esto se debe a la disponibilidad de alimento (hongos y la misma hojarasca) que es mayor en el biotopo de hojarasca que en el suelo.

La colecta con mayor índice de diversidad fue la de abril en el caso de hojarasca y agosto en el caso de suelo.

Para el caso de sitios tenemos que el sitio C y D son los más diversos para hojarasca, sin embargo, en el caso del suelo es más diverso el sitio E.

4.4. Relacion de los colembolos más abundantes con algunas características químicas del suelo

Se realizó una regresión lineal para encontrar la relación de algunas características químicas con la abundancia de los cuatro colémbolos más abundantes presentes en el suelo y la hojarasca. Los modelos estadísticos se muestran a continuación.

4.4.1. Suelo

Se utilizaron los factores de pH, Conductividad Eléctrica (CE), Materia Orgánica (MO), Nitrato (NO₃) y Fosforo (P).

- **Proisotoma**

$$Y = 0.63520 - 0.02873\text{pH} + 0.00008084\text{CE} - 0.03627\text{MO} + 0.01973\text{NO}_3 - 0.56006\text{P}$$

- **Lepidocyrtus**

$$Y = 0.78661 - 0.03508\text{pH} + 0.00017141\text{CE} + 0.33055\text{MO} - 0.03730\text{NO}_3 - 3.64074\text{P}$$

- **Brachistomella**

$$Y = 0.72718 - 0.00522\text{pH} - 0.00005540\text{CE} + 0.00515\text{MO} + 0.00089513\text{NO}_3 - 0.31638\text{P}$$

- **Mesaphorura**

$$Y = 0.71273 - 0.01334\text{pH} - 0.00008410\text{CE} + 0.03981 - 0.00356\text{NO}_3 + 2.25088\text{P}^*$$

De acuerdo con estos resultados se puede mencionar que estadísticamente no hay relación entre la abundancia de colémbolos y las variables de pH, CE, MO, NO₃ y P con los géneros de ***Proisotoma***, ***Lepidocyrtus*** y ***Brachistomella***; sin embargo, para el caso de ***Mesaphorura*** (*) hubo relación solo con el P, por lo que sería interesante analizar con mayor profundidad.

De acuerdo con lo citado por Miranda (2005), la degradación del vegetal y material

animal en el suelo es un proceso biológico fundamental porque el C es recirculado a la atmósfera como dióxido de CO_2 , N está disponible como el NH_4 y NO_3^- y otros elementos asociados (fósforo, azufre y micronutrientes diferentes) aparecen en formas inorgánicas requeridas por las plantas superiores. En el proceso, parte de los nutrientes es asimilado por los microorganismos e incorporado en biomasa microbiana. La conversión de C, N, P y S en formas inorgánicas (minerales) se llama mineralización; asimilación por la síntesis de las células microbianas y otros organismos se llama inmovilización.

4.4.2. Hojarasca

En el caso de la hojarasca se evaluaron los factores N, Fenoles y C.

Los modelos estadísticos resultantes se mencionan a continuación.

- ***Proisotoma***

$$Y = -4268.57703 - 1.79254N^* + 3044.06243F^* - 2.05817C$$

- ***Lepidocyrtus***

$$Y = 85.20135 - 65.85416N^* - 0.46585F + 0.19689C$$

- ***Brachistomella***

$$Y = 14.22153 - 4.38160N - 0.09270F - 0.13512C$$

- ***Isotomiella***

$$Y = 2.73047 - 4.59347N - 0.05880F + 0.08886C$$

Para los géneros de ***Proistosoma*** y ***Lepydocyrtus*** los factores N y cantidad de Fenoles están correlacionados de manera significativa con la abundancia de colémbolos, en el caso del nitrógeno se ve afectado negativamente, es decir, si el N disminuye la abundancia igual. Caso contrario al de los fenoles, haya mayor

abundancia de colémbolos si estos aumentan.

Para el caso de C, estadísticamente no hubo relación en ninguno de los tres géneros.

Para el caso de ***Brachistomella*** e ***Isotomiella*** no se encontró algún factor que este correlacionado significativamente a la abundancia.

De acuerdo a estos resultados podemos afirmar la importancia de estos colémbolos con diferentes procesos como la mineralización en el caso del suelo o el proceso de fotosíntesis. Para esto Miranda (2005) menciona que el proceso de fotosíntesis es de primordial importancia en el abastecimiento de materia prima para el crecimiento microbiano y la síntesis de humus. Mediante el uso de energía solar y nutrientes derivados de la tierra, las plantas superiores producen lignina, celulosa, proteínas y otras sustancias orgánicas que conforman sus estructuras. Durante la descomposición por microorganismos, gran parte de la C se libera a la atmósfera como CO₂, pero una parte importante se queda como materia orgánica del suelo y componentes microbianos. Parte del humus nativo está mineralizado simultáneamente. Resultados de estudios con residuos de plantas etiquetado añadido a templado, suelos de la zona han demostrado que aproximadamente un tercio de la aplicada C queda en el suelo después del primer año, y el resto se recicla en la atmósfera. Significa tiempos de residencia de la residual C entre semanas y años para los componentes de la biomasa de siglos para el material húmico.

Existen pocos estudios en donde se relacione directamente a los colémbolos con la MO, por su parte Miranda (2005), encontró que la comunidad de colémbolos edáficos participó muy probablemente de manera significativa en la descomposición de la hojarasca de durazno; y la densidad, la riqueza y la diversidad de la comunidad dependieron de las condiciones específicas del suelo como fueron el alto contenido de materia orgánica y la reducción en la CIC y la relación C/N, por lo que hubo una estrecha relación entre las condiciones físicas y químicas del suelo, y la abundancia

y la diversidad de la comunidad de colémbolos edáficos con la eficiencia en la descomposición de la hojarasca de duraznos.

Esto quiere decir que la materia orgánica es impórtate en este proceso del suelo, o humus, para esto es necesario saber que: el suelo se compone de dos tipos principales de compuestos: sustancias no húmicas y sustancias húmicas (Porta, 1994). La primera está representada por las clases bien caracterizadas de compuestos orgánicos, incluyendo carbohidratos, grasas, ceras y proteínas

Porta (1994) menciona que Los organismos fotótrofos fijan C procedente de CO_2 atmosférico, que pasa a formar parte de los tejidos vegetales y de los microorganismos en forma de C org. Los organismos organótrofos utilizan estos compuestos orgánicos como alimento, sus restos y residuos, al ser mineralizados, liberan CO_2 con los que se cierra el ciclo. Las sustancias húmicas, que representan la fracción más activa del humus, consisten en una serie de polielectrolitos de alto peso molecular altamente ácidos, de color amarillo a negro, a los que se hace referencia con nombres tales como ácido húmico, ácido fúlvico, entre otros. En cuanto a las sustancias no húmicas, el suelo, que es un cementerio para microorganismos muertos, contiene esencialmente todos los biopolímeros y compuestos bioquímicos sintetizados por bacterias, actinomicetos y hongos, aunque muchos de los productos bioquímicos se producirán sólo en trazas. Por ejemplo, los suelos contienen un número bastante grande de aminoácidos que normalmente no se encuentran en las proteínas.

Finalmente, en el suelo existen una gran variedad de microorganismos como bacterias y protozoarios, así como nemátodos, ácaros y hongos, que intervienen en los procesos de transformación de la materia orgánica del suelo. Adicionalmente con la depredación entre ellos, por ejemplo los nemátodos que se alimentan de bacterias y protistas, y microartrópodos que se alimentan de hongos y lombrices juveniles (Osler y Sommerkorn, 2007), liberan nutrientes que son reutilizados en descomposición y mineralización. Estos microorganismos son de gran importancia

actuando como descomponedores y como reservorio de nitrógeno, que eventualmente se libera con su muerte o depredación (Celaya, 2011).

5. CONCLUSIONES

Se encontró mayor diversidad de organismos en la hojarasca, que en el suelo en las diferentes colectas realizadas o fechas de muestreo y en los sitios en donde se realizó el experimento, lo cual nos indica que en el biotopo hojarasca se encontraron las mejores condiciones de desarrollo para los diversos microorganismos de los cuales se alimentan la mayoría de colémbolos.

La comunidad de colémbolos tuvo un mejor desarrollo en aquellas zonas en las cuales la hojarasca se enriquece con el aporte de otra especie vegetal como fue el caso de los *encinos*, los cuales hicieron la materia orgánica más enriquecida y por lo que proliferaron mejores microhábitats los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de los colémbolos.

Sin embargo en las zonas que fueron afectadas por los incendios, se provocó un disturbio en la comunidad debido a que el fuego afectó mayormente su dinámica por lo que se encontró una disminución en la abundancia de la población ya que fue el sitio con menor abundancia de todo el experimento en los dos biotopos, además de que la reforestación está volviendo a restablecer las comunidades que fueron afectadas, pero esto se da lentamente, debido a que los colémbolos son muy sensibles a los cambios climáticos, de sustrato y otros.

En las zonas no perturbadas por el fuego ni la reforestación, las poblaciones de colémbolos se mantuvieron estables.

6. LITERATURA CITADA

- Addison, J.A., J.A. Trofymow and V.G. Marshall. 2003. Abundance, species diversity, and community structure of Collembola in successional coastal temperate forests on Vancouver Island, Canada. *Applied Soil Ecology* 24: 233-246.
- Alcantar González Gabriel, Trejo Téllez Libia et al., 2013 *Nutrición de Cultivos*. Biblioteca básica de agricultura. México. 454pp.
- Árbea, J. y J. Blasco. 2001. Ecología de los colémbolos (hexápoda, Colémbola) en los Monegros (Zaragoza, España). En: *Aracnet 7 -Bol. SEA*. 28: 35-48. En: <http://entomologia.rediris.es/aracnet/7/03ecolembolos/>; consulta: octubre 2012.
- André, H. M. 2002. Soil biodiversity: myth, reality or conning. *Editorial Oikos* 96: 3-24.
- Barrios, E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics* 64(2): 269-285.
- Barea, J.M., Y Olivares, J. (1998): Manejo de la propiedades biologicas del suelo. En: *Agricultura sostenible* . Editorial Mundi- Prensa , pp. 173- 193.
- Bellinger P. F. Christiansen K. A. y Janssens F. 2003. Ckecklist of the Collembola of World. <http://www.collembols.org>.
- Begon, M.; Harper, J. L. y Townsend, C. R., 1999. *Ecología Individuos, Poblaciones y Comunidades*. Ediciones Omega. Tercer Edición. Barcelona, España. 1121 pp.
- Burges, A. y Raw. 1971. *Biología del suelo*. Ed. Omega. Barcelona España. 587. pp.
- Carson, W.P. y Peterson, C. J. 1990. The role of litter in an old-field community: impact of litter quantity in different seasons on plant sciences richness and abundance. *Oecologia*. 85: 8-13.
- Casagnau P.1971. Le spermatophore des Collembols Neanuridae. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol.*, 8 (4): 609-616.

Celaya-Michel, Hernán, Castellanos-Villegas, Alejandro E., 2011, Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas, Terra Latinoamericana. [En línea, fecha de consulta: 22 de junio de 2017].

Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57321283013>> ISSN

Chaudhuri, D. K. y S. Roy. 1996. The role of edaphic factors on the distribution of subterranean collembolan microfauna of West Bengala, India; Parte 1. En: Actas del Coloquio Latinoamericano del suelo. Bahía Blanca, Montevideo, pp. 391-403

Christiansen K. y Bellinger. 1980. The Collembola of North America y North of The Rio Grande a Taxonomic Analysis. Grinnell College. Grinnell, Iowa. 1322 pp.

Christiansen, K. A. 1958. The entomobryiform male genital plate. Proc. Iowa. Acad. Sci., 65 (20): 474-476.

Dutta, R. y Agrawal M. 2003. Litterfall, descomposition and nutrient release soil arthropods with respect to descomposition processes in the presence or absence of pine tree roots. Soil Biology and Biochemistry 23: 15-23.

Eisetnbeis G. 1982. Physiological absortion of liquid water by Collembols: absorption by the ventral at different salinities. J. Insect. Physiol., 28 (1): 11-20

Facelli, J.M. y Pickett, S.; 1991. Plant litter: light interception and effects on an old- field plant community. Ecology 72(3): 1024- 1031.

Farahat, A. 1966. Studies on the influence of some fungi on Collembola and Acari. Pedobiología, Bd. 6, S.: 258-268.

Fernández, C.; Lelong, B.; Vila, B.; Mevy, J.- P.; Robles, C.; Greff, S.; Dupouyet, S. y Bousquet M. A.; 2006. Potential allelopathic effect of Pinus halepensis in the secondary succession: an experimental approach. Chemoecology 16: 97-105.

Flores, M. G. J. Jiménez L., X. Madrigal S., F., Moncayo R., F. Takaki T. 1971. Memoria del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana, Secretaria de Recursos Hidráulicos, México 123 pp.

García E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de köppen. UNAM.

Instituto de Geografía, México, 246 pp.

Ghiralov M. S. y Semenova L. L. 1963. Evolución de la cutícula de los artrópodos, en : Logros de la biología contemporánea, 56 (5): 208-227.

Guevara, R. L. V. y Nájera A. 2002. Soil mesofauna patterns and experiments on leaf litter mite fungivory: Preferences, effects on fungal reproduction and decomposition. Acta Zoológica Mexicana, 87: 1-15.

Greenslade, P. 1991. Collembola (Springtails). The Insects of Australia: a textbook for students research workers/ the division of Entomology, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Volume II, Chap 11. Cornell University Press, Ithaca, New York 2nd ed. Pp. 252-264.

Hulya, A., G. Guleryüz and S. Kirmizi. 2010. Nitrogen mineralization in the soil of indigenous oak and pine plantation forests in a Mediterranean environment. European Journal of Soil Biology 46, 11-17.

Hofstede, R. y Aguirre, N. 1999. Biomasa y dinámica del carbono en relación con las actividades forestales en la Sierra del Ecuador. En: G. Medina y P. Mena (Eds) El páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico. Serie Páramo 1. GTP/Abya Yala, Quito. pp 29-52.

Hopkin, S. 1997. Biology of the springtails (Insecta: Collembola). Oxford University Press, Oxford. USA. 330 p.

Hopkin, S. 2002. Collembola. Encyclopedia of Soil Science 207- 210.

Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. 1995. Anuario climatológico.

Jordana, R., Arbea, J.I., Simón, C. y Lucíañez, M.J. 1997. Collembola, Poduromorpha. En: Fauna Iberica, vol. 8. Ramos. M.A. et al. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. Madrid. 807 pp.

- Karuhize G. 1971. The structure of the postantennal organ in *Onychiurus* sp (Insecta, Collembola) and its connection of the control nervous system. Ztschr. Zellforsch. 118 (2): 263-282.
- Kennedy, A. C., Y Smith, K. L. (1995): Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. Plant soil, 170: 75-86
- Labrador, M. J., 2001. La materia orgánica en los agroecosistemas. Editorial Mundi-Prensa, 293 pp
- Lawrence P. N. y Massoud Z. 1973. Cuticle structures in the Collembola (Insecta). Rev. Ecol. Biol. Sol., 10 (1):77-101.
- Leopold, A. 1959. Vegetation Zones of México. Ecology, 31, 507-518.
- Liu, W.; Fox J. E. D. y Xiu. Z. 2000. Leaf litter decomposition of canopy trees, bamboo and moss in a mountain moist evergreen broad-leaved forest on Ailao Mountain, Yunnan, South-west China. Ecol. Reserch. 15: 435-447.
- Maes J. M. y Palacios V. J. G. 1988. "Catálogo de los Insecta Apterygota de Nicaragua". Rev. Nic. Ent. 4:1-9
- Margalef, R. 1986. Ecología. Barcelona España. Editorial Omega. 951p.
- Massoud Z. y Ellis W. 1977. Proposition pour une classification et une nomenclature coherente des phaneres des Collembos europeens. Ibid. 14 (1) 183-197.
- Meglistch, P. A. 1981. Zoología de los invertebrados, 2ª. Ed. H. Blume. España, 906 p.
- Melillo, J.; Ja A. y Muratore J. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf decomposition. Ecology 63: 621-626.
- Miranda R.; Calyecac C. y Santiago E. Estructura de la comunidad de colémbolos edáficos en un bosque de encinos en Texcoco, estado de México. Universidad Autónoma Chapingo, consultado en línea (<http://www.entomologia.socmexent.org/revista/entomologia/2012/EC/347-352.pdf>).

- Muller, U. B. 1983. Los encinos de nuevo León, taxonomía, ecología y sugerencias para su manejo. Memorias del Primer simposio sobre la Flora del Noreste (resúmenes), Cd. Victoria, Tamps., 10-11 de junio de 1983. INIREDB-Universidad Autónoma de Tamaulipas. Pp. 95-96.
- Najt, J. y Palacios, V. J. G. 1986. Nuevos Brachystomellinae de México (Collembola: Neanuridae). *Nouv. Rev. Ent.* 3: 457-471, Paclt J. 1956. Biología der primar Flugellosen Insekten. Jena: Fischer, 258 p.
- Navarro B. S., Navarro G. G., 2003, Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal, Mundi-Prensa, 487 p.
- Palacios, V. J. G. 1997. Catálogo de los Collembola de México. México: Facultad de Ciencias, UNAM, 102 p.
- Palacios V. F. G. 1980 Claves para la identificación de algunos géneros de Colémbolos mas comunes o presentes en México. *Fac. Ciencias. UNAM* 10 p.
- Palacios, V. J. G. y Cadena C. A. 1996. Colección y catálogo de los colémbolos (Arthropoda: Hexápoda) de México. México, 2:62-65
- Palacios, V. J. G. 1983. Catálogo de los colémbolos Mexicanos. *Esc. Nac. Cienc. Biol. México.* 27: 61-76.
- Palacios, V. J. G. y Mejía R. B. E. 2007. Técnicas de Colecta, Montaje y Preservación de Microartrópodos Edáficos. Primera Edición. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de México. 73 pp.
- Paoletti, M. G.; Favretto, M. R.; Stinner, B. R.; Purrington, F. F. y Bater, J. E., 1991. Invertebrates as bioindicators of soil use. p. 341 -362. In D.A. Crossley Jr., et al. (eds.). *Modern techniques in soil ecology*. Elsevier, Nueva York, USA.
- Paoletti, M. G., D. Pimentel, B. R. Stinner y D. Stinner. 1992. Agroecosystem biodiversity: matching production and conservation biology. *Agriculture, ecosystems and environment* 40:3-23.
- Ponge, J.F. 1980. Les biocénoses des collembolles de la forêt de Sénart. En: P. Pesson. (Ed). *Actualités d'écologie forestier*. Gauthier-Villars, Paris, pp. 151-176.

Porta Casanellas Jaime, López Acevedo Reguerin Marta, roquero de Laburu Carlos (1994).
Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.
917pp.

Porta C., J., 2013, Edafología, 3ra Edición, Mundi Prensa, España, 907 pp.

Mena, P.A., Josse, C. y Medina, G. (eds). Los suelos del páramo. Serie paramo 5.
GTP/Abya Yala, Quito. Pp 5 – 26.

Qinghong, L. 1995. A model for species diversity monitoring at community level and its
applications. Environmental Monitoring and Assessment, Dordrecht, v. 34, n. 3, p.
271-287.

Rai, S. N. y Proctor J.1986. Ecological studies on four rainforests in Karnataka, India. II.
Litterfall. J. Ecol. 74: 455-463.

Rusek, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem.
Biodiversity and Conservation 7:1207–1219.

Rusek, J. 2000. Microhabitats of Collembola (Insecta: Entognatha) in beech and spruce
forests and their influence on biodiversity. *European Journal of Soil Biology*, 37: 29-
36.

Ruppel H. 1953. Physiologische untersuchungen uber die bedeutung des ventraltubes und
die atmung der Collemlen. Zool. Jb. Physiol., 64: 429-598

Salmon, J. T., 1964. An index to the Collembola. Bull. Roy. Soc. N. Z., 7 (3): 1-651

Schowalter, T.D. 2006. Insect ecology, an ecosystem approach. Academic, London,
Reino Unido. 220 pp.

Scott, D. B. 1953. The economic Biology of Collembola. J. Econ. Entomol., 46 (6):
1048-1051.

Socarrás, A., (2013). Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. Pastos y
Forrajes, 36(1), 5-13. Recuperado en 19 de mayo de 2017, de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086403942013000100001&lng=es&tlng=es.

- Stebaeva, S. K. 1988. "Características generales del taxón", en: Chernova, N. M. y Striganova, B. R. (Eds). (Biology). *Opredelitel' Kollembol fauny Sssr, p. obshchaya chast', opredelitel'nye tablitsy semeistv i rodov*. (Manual de identificación de Collembols de la URSS: datos generales, claves de familias y generos) Nauka, Moscú, 5-37.
- Steveson, J. F. y Cole, M. A. 1999. *The principles and practice of statistics in biological research*. Ed. W. H. Freeman and Co. San Francisco, USA. pp. 776.
- Triplehorn, C. A. y Johnson N. F. 2005. *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects*. Seventh Edition. Thomson U. S. A. 864 p.
- Thompson, D.J.; Shay, J. M. 1989 First-year response of a *Phragmites* marsh community to seasonal burning. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, v.67, n.5, p.1448-1455.
- Tuxen S. L. 1980. The phylogeny of Apterygota and on phylogeny in general. *Boll Zool. Suppl.* 47: 27-43
- Vázquez, G. M. M. Y Palacios, V. J. G. 2004. Catálogo de colémbolos (Hexápoda: Collembola) de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. México: CONABIO, 123.
- Vázquez Y., C. y Orozco S. A. 1994. Signals for seed to seeds and respond to gaps. En *exploitation of environmental heterogeneity by plants*. (A. Coldwell, M. Marlyn y R. W. Pearcy, eds). Academic Press, London, 209-253 pp.
- Wardle, D. A. 2002. *Communities and Ecosystems: Linking the aboveground and belowground components*. U.S.A. Princeton University Press. Pp. 145.
- Whitford, W.G.; Freckman, D.W.; Elkins, N.Z.; Parker, L.W.; Parmalee, Phillips, R. J. y Tucker S. 1981. Diurnal Migration and Responses to Simulated Rainfall In Desert Soil Microarthropods And Nematodes. *Soil Biol. Biochem.*, 13: 417-425.
- Zavala, C. F. 1995. *Encinos Hidalguenses*. 1ra. ed. México: Universidad Autónoma de

Chapingo. Pp. 89.

Zavala, C. F. 1990. Los encinos de México: un recurso desaprovechado. Ciencia y Desarrollo (CONACyT) vol. XVI (95): 43-51.