



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MESO Y
MACROFAUNA DEL MANTILLO DE LA CUENCA
ALTA DEL RÍO MAGDALENA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

ESTHELA ERENDIRA BALTAZAR ORTEGA



**DIRECTOR DE TESIS:
DRA. MARIA GUADALUPE BARAJAS GUZMAN
2011**



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
Teléfono
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Carrera
Número de cuenta

2. Datos del tutor

Grado
Nombres
Apellido paterno
Apellido materno

3. Datos del sinodal 1

Grado
Nombres
Apellido paterno
Apellido materno

4. Datos del sinodal 2

Grado
Nombres
Apellido paterno
Apellido materno

5. Datos del sinodal 3

Grado
Nombres
Apellido paterno
Apellido materno

6. Datos del sinodal 4

Grado
Nombres
Apellido paterno
Apellido materno

7. Datos del trabajo escrito

Título

Número de páginas

Año

1. Datos del alumno

Baltazar
Ortega
Esthela Erendira
3185-6464
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
404003799

2. Datos del tutor

Dra.
María Guadalupe
Barajas
Guzmán

3. Datos del sinodal 1

Dr.
Francisco Javier
Álvarez
Sánchez

3. Datos del sinodal 2

Dr.
Ignacio Mauro
Vázquez
Rojas

5. Datos del sinodal 3

M. en C
Arturo
García
Gómez

6. Datos del sinodal 4

Dra.
Blanca Estela
Mejía
Recamier

7. Datos del trabajo escrito

Variación espacio-temporal de la meso y macrofauna del matillo en la cuenca alta del Río Magdalena, D. F.

70 p

2011



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
Secretaría General
División de Estudios Profesionales


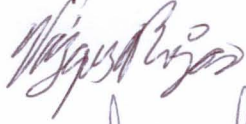
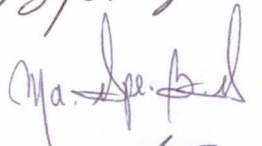
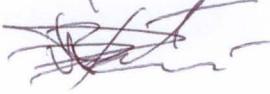

Votos Aprobatorios

DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ
Director General
Dirección General de Administración Escolar
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

Variación espacio-temporal de la meso y macrofauna del mantillo en la cuenca alta del Río Magdalena, D. F.

realizado por **Baltazar Ortega Esthela Erendira** con número de cuenta **4-0400379-9** quien ha decidido titularse mediante la opción de **tesis** en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario	Dr. Francisco Javier Álvarez Sánchez	
Propietario	Dr. Ignacio Mauro Vázquez Rojas	
Propietario Tutora	Dra. María Guadalupe Barajas Guzmán	
Suplente	M. en C. Arturo García Gómez	
Suplente	Dra. Blanca Estela Mejía Recamier	

Atentamente,
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU ”
Ciudad Universitaria, D. F., a 18 de octubre de 2011
EL JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.
MAG/CZS/cigs

*...and we don't know
just where our bones will rest.
To dust I guess,
forgotten and absorbed into the earth below.*

1979, Smashing Pumpkins

*I'll have to take you down below where insects run the show
Sound and vision turning inside out*

La fée verte, Kasabian

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. M. Guadalupe Barajas-Guzmán por su paciente ayuda y valiosa asesoría en la dirección de esta tesis. Al Dr. F. Javier Álvarez-Sánchez por compartir sus conocimientos conmigo y por la revisión de la tesis.

Al M. en C. Arturo García y a la Dra. Blanca Mejía por la revisión de la tesis y su apoyo en la extracción e identificación de la fauna.

Al Dr. Ignacio M. Vázquez Rojas por la revisión y los comentarios a la tesis.

A Juan Carlos Peña y Lizbeth Guzmán por la ayuda en la logística para las salidas de campo.

A. Juan Carlos Peña, Lizbeth Guzmán, Dulce Moreno, Ernesto Delgadillo, Irene Sandoval, Adrián Hernández, Carolina Piña, Kurt Unger y Violeta Parejas por su ayuda en la colecta del material y el conteo de fauna.

Al. Biól. Marco Antonio Romero Romero por su apoyo técnico con las computadoras.

Al. Dr. José G. Palacios por permitirme usar sus instalaciones para la extracción de la fauna.

A la Dra. Irene Sánchez-Gallen por los comentarios al escrito.

Al Macroproyecto “Manejo de ecosistemas y desarrollo humano” SDEI-PTID-02 y al Proyecto PAPIIT IN202210-3 “Determinación del grado de conservación del bosque templado en la cuenca del río Magdalena” por el apoyo económico para la realización de este trabajo.

A mi padre Luis Baltazar Villaseñor, a mi madre María Ortega Montes por su apoyo incondicional y su paciencia. A mis abuelas Pilar Montes y Estela Villaseñor por todo su apoyo de mil y un formas.

A mis amigos del Laboratorio de Ecología de Suelo y Dinámica de Comunidades de la Facultad de Ciencias, UNAM por sus comentarios de apoyo y las enriquecedoras discusiones durante la comida (y otros momentos). En particular a la Dra. Silvia Castillo por facilitar la ayuda de PAPIIT.

A mis amigos del 2012 por su sonrisa desde que llegué a la fac, su apoyo y su ejemplo.

A la UNAM, Alma Mater y Casa por brindar formación a todo el que en verdad la quiere, por darme amigos sinceros y empeñosos, por los grandes maestros que encuentro en mi camino y las personas geniales que conozco.

A Dios por ser mi ancla y mi faro.

DEDICATORIAS

Esta tesis es para:

Mi papito y mi mamita por su amor, paciencia, apoyo y ejemplo

Mis abuelos y abuelas toditos por su valioso ejemplo y su cariño

Mis hermanas carnales Lupita y Cristina que son los amores de mi vida

Mis maestros todos, en especial Lupita Barajas, Javier Álvarez, Arturo García y Nacho Vázquez por sus conocimientos y sabiduría

Mis amigos de Suelos y Comunidades: Liz, Dulce, Irenita, Ice, Peña, Neto, Irene, Silvia, Gaby, Yuriana, Nestor, Andrea, Valeria, Caro, Adrián, Kurt...

Mis otras hermanas: Lupys, Celes y Dianita. Y a Mónica M., mi hermana de lab

Mis β -readers: Celes, Dianis, Carlitos y Juan

Mis amigas de toda la vida: Magy y Sarita. A Gaby N. A los que quedan y faltan del 2012:

Marisol, Ale, Hilda, Lara y Yoli

La dualidad Malteada, a los Viajeros Ale, y Alfredito

a todos muchas gracias por sus sonrisas, sus porras y comentarios.

y sobre todo por ser la razón de bajar los pies de la cama todas las mañanas.

Paty Conde por mostrarme la puerta y a Lucía Garza por enseñarme la importancia del camino

Los Dinamos y La Magdalena Contreras, lugar de encuentro y de vida. Que se conserve por muchos años

A Dios por todos ustedes y todo lo demás

¡Puedo!

ÍNDICE

Resumen	1
Abstract	3
1. Introducción	4
1.1 Flujo de energía	4
1.2 Factores reguladores del proceso de descomposición	7
I. Condiciones climáticas	7
II. Calidad del mantillo	8
III. Biota desintegradora	10
IV. Características del suelo	12
2. Antecedentes.	14
2.1 La biota y fauna edáfica en México.	14
2.2 Estudios en bosques templados a nivel mundial y en México.	14
3. Objetivos	17
4. Hipótesis	17
5. Zona de estudio	18
5.1 Suelo	20
5.2 Clima	20
5.3 Vegetación	21
5.4 Vegetación dominante	22
5.5 Fauna	26
6. Método	27
7.- Resultados	29
7.1 Diversidad taxonómica	29
7.2. Mantillo	43
7.3. Calidad del mantillo	46
7.4 Condiciones climáticas	51
8. Discusión	57
9. Conclusión	62
10. Literatura citada	63

RESUMEN

La descomposición es uno de los procesos más importantes para el ciclo de nutrientes y el flujo de energía en los ecosistemas, donde la fauna que habita en el suelo juega un papel muy importante, en especial la fauna asociada al mantillo.

La fauna del mantillo es afectada por diversos factores, tales como la temperatura, la humedad y la calidad del mantillo. Por lo mismo, su riqueza taxonómica y la abundancia fluctúan de acuerdo a los cambios que dichas variables puedan presentar, ya sea a lo largo del año o entre diferentes tipos de bosque. El objetivo del presente trabajo fue describir las variaciones espaciales y temporales de la fauna del mantillo en los bosques templados de la cuenca alta del río Magdalena, D.F.

De mayo de 2007 a mayo 2008, dentro de una parcela de 50 m × 50 m en cada bosque de los tres principales (*Pinus hartwegii*, *Abies religiosa* y bosque mixto de *Quercus*.), se colocaron aleatoriamente 15 aros de 25 cm de diámetro y se recolectó el mantillo dentro de ellos. Las muestras fueron tomadas cada dos meses. La fauna se extrajo manualmente y por embudos de Berlese-Tullgren. Los organismos encontrados fueron contabilizados y clasificados taxonómicamente. El mantillo se secó y su contenido de C y N fue analizado. Durante el año de la colecta se obtuvieron la temperatura y la humedad de los sitios muestreados.

Se encontraron 41,422 organismos pertenecientes a 27 taxones diferentes. El bosque de *Quercus* fue el bosque con mayor riqueza taxonómica y el bosque de *P. hartwegii* presentó la abundancia más elevada. Los taxones más abundantes fueron Acari, Collembola, Hemiptera y Oligochaeta, además de larvas de Diptera y Coleoptera. El número de organismos encontrados durante las colectas varió significativamente y se encontraron correlaciones entre la cantidad de mantillo y la abundancia en dos bosques: en *P. hartwegii* la relación fue positiva y en *A. religiosa* negativa. La calidad del mantillo fue significativamente diferente en cada tipo de bosque, la más alta se encontró en *Quercus* y la más baja en *P. hartwegii*.

La alta diversidad taxonómica de *Quercus* puede estar ligada a sus condiciones climáticas más estables, como humedad y temperatura elevada y una relación C/N baja que permite su establecimiento. Las condiciones climáticas fluctuantes de *P. hartwegii* permiten la presencia de ciertos taxones y favorece la dominancia de pocos.

Se concluyó que sí existen diferencias en la meso y macrofauna de los diferentes tipos de bosque aunque los taxones más abundantes se encontraron en ellos. La fauna varía a lo largo del año y los meses de mayo 2007 y 2008 presentaron la mayor abundancia. El mantillo acumulado influye en la cantidad de organismos que se encuentran en los bosques ya sea por su cantidad o su calidad. El clima también afecta a la fauna, haciendo variar el número taxones o de individuos encontrados.

ABSTRACT

Decomposition is one of the most important processes for nutrient cycle and energy flux in ecosystems, where soil fauna plays an important role.

Litter fauna is influenced by several environmental factors such as temperature, humidity, and litter quality. For this reason, its taxonomical richness and organism abundance fluctuate following these variable changes, whether they occur along the year or among different types of forests. The objective of the present study was to describe litter fauna distribution and its changes on space and time in the three main forests of the high Río Magdalena Basin, Mexico City, Mexico.

From May 2007 to May 2008, inside a previously limited 50m × 50 m plot in each forest type (*Pinus hartwegii*, *Abies religiosa* and *Quercus spp.*), I randomly placed 15 25-cm rings where I collected all litter, every two months; fauna was extracted by hand and with Berlese-Tullgren funnels; all collected organisms were counted and taxonomically classified. Litter was dried and C and N content analyzed. During the collecting year, air and soil temperature and air humidity were measured.

I found 41,422 organisms belonging to 27 taxa. *Quercus* forest had the highest taxonomical richness, and *P. hartwegii* the highest abundance. Acari, Collembola, Hemiptera, Oligochaeta and larvae were the most abundant taxa. Organism abundance significantly varied among collections and litter mass and organism abundance were significantly correlated in *P. hartwegii* and *A. religiosa* forests. Litter quality was significantly different in each forest, *Quercus* litter had the highest quality and *P. hartwegii* the lowest.

It was concluded that there are differences in the meso and macrofauna among forests, and they change during the year, but the three main taxa can be found in all the forests. Litter influences organism abundance and the climate also affects the fauna diversity, by the variation of the number of taxa or individuals.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Flujo de energía

Para el funcionamiento, el manejo y la conservación de cualquier ecosistema es necesario que la energía y los nutrientes circulen entre todos los subsistemas que lo componen. El ciclo de nutrientes y el flujo de energía se inician cuando son capturados por los autótrofos (Figura 1.1) y se cierra con la reintegración de la materia orgánica (MO) al suelo por medio de los descomponedores (Chapin, 2002).

En el caso de los bosques, la energía capturada se ocupa para la formación de materia orgánica y el mantenimiento de estructuras ya existentes. Parte de ésta se pierde mediante la respiración y la evapotranspiración. La energía y la materia que no se pierden forman la producción primaria neta (PPN) (Swift *et al.*, 1979; Coleman *et al.*, 2004).

La materia orgánica (MO) almacenada por los productores primarios queda disponible para los heterótrofos herbívoros, que llegan a consumir más del 10% de la biomasa vegetal aérea (Wardle, 2002) y hasta el 18% de la PPN en los ecosistemas terrestres (Cyr y Pace, 1993), y la mayor parte de la MO liberada es en forma de hojarasca y se acumula como mantillo. Ésta pasa al sistema de los desintegradores, lo que sugiere que una gran parte del mantillo es descompuesta y reintegrada al ciclo de nutrientes. Esta actividad ocurre principalmente en el suelo, mediante el metabolismo de la biota que lo habita (Swift *et al.*, 1979; Wardle, 2002; Coleman *et al.*, 2004).

La descomposición es el proceso mediante el cuál la materia orgánica muerta (MOM) de los seres vivos se reduce a sus constituyentes químicos elementales, y es indispensable para la recuperación de la materia orgánica y los nutrientes por las plantas, y para el flujo de energía dentro de los procesos dinámicos de los ecosistemas como la productividad primaria y el ciclaje de nutrientes (Swift *et al.*, 1979).

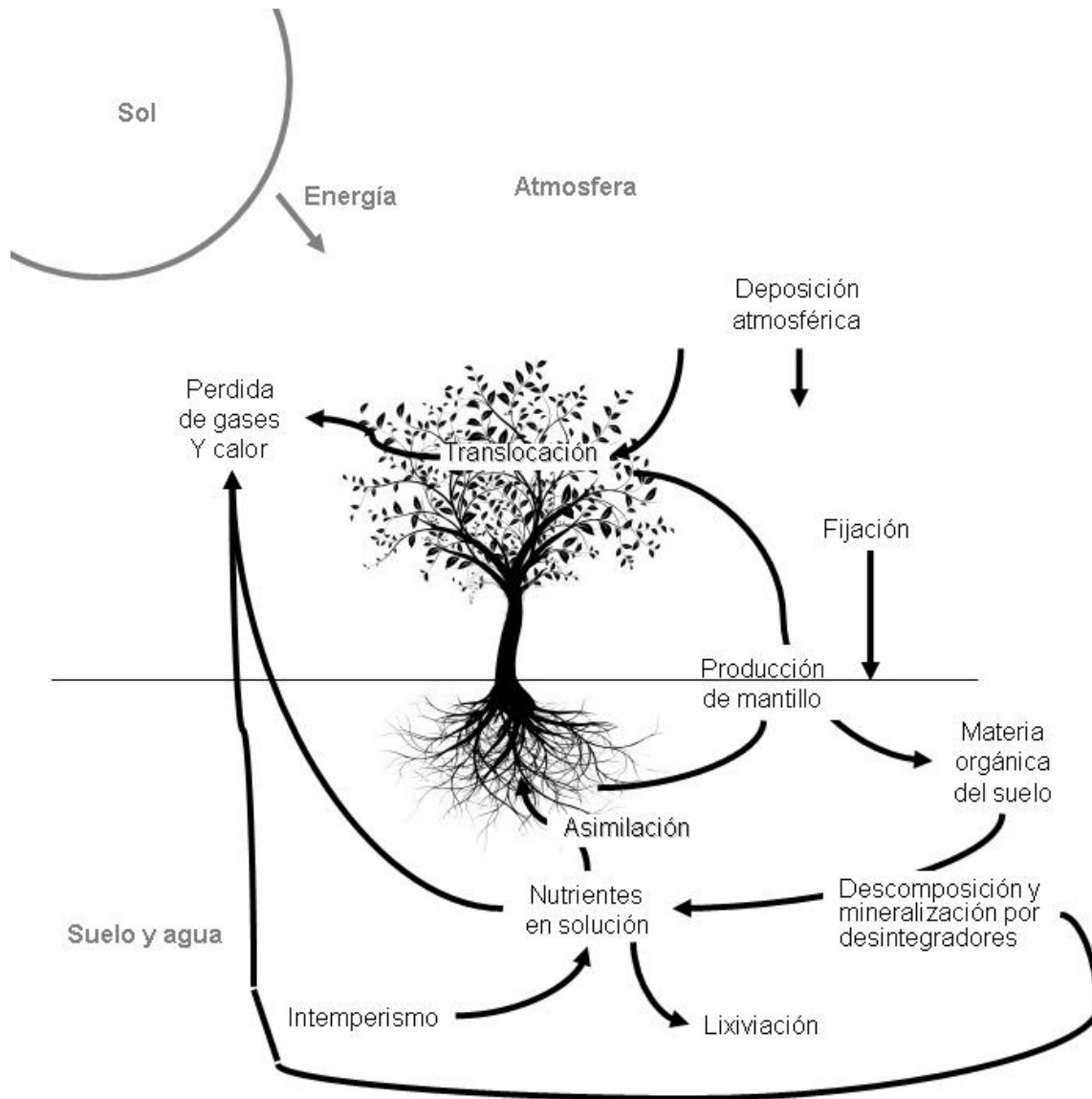


Figura 1.1 Ciclo de nutrientes y flujo de energía en el ecosistema. Modificado de Barnes *et al.*, 1999.

El proceso de descomposición se lleva a cabo en las siguientes fases: 1) Trituración, en donde los tejidos que componen el detritus son fragmentados por la meso y macrofauna del suelo; 2) Lixiviación, donde se pierden los compuestos solubles por las corrientes de agua; 3) Catabolismo o Mineralización, consistente en la transformación de los compuestos orgánicos a sus formas inorgánicas y la liberación de nutrientes por los microorganismos (bacterias y hongos) para su posterior utilización por las plantas; y 4) Humificación, donde

se forman nuevos compuestos orgánicos de alto peso molecular (Singh y Gupta, 1977; Álvarez-Sánchez, 2001).

En la superficie edáfica de los ecosistemas forestales se puede acumular gran cantidad de materia orgánica y nutrientes (Barnes *et al.*, 1998). Esto se debe a las características climáticas de los sitios en los que se establecen, sobre todo a la precipitación pluvial, que es mayor a la tasa de evapotranspiración de las plantas y les permite una PPN alta. Aquí, las plantas generan materia orgánica en los tejidos vegetales, que después se desprenden y se acumulan en el mantillo. La producción del mantillo en la franja ecuatorial es de dos a tres veces más alta que en las regiones templadas o más cercanas a los polos (Ambasht y Srivastava, 1995).

Cuadro 1.1 Masa y contenido de nitrógeno (N) y fósforo (P) de los suelos de ecosistemas forestales tropicales, templados y boreales (Barnes *et al.*, 1998).

ECOSISTEMA	CONTENIDO EDÁFICO		
	MATERIA ORGÁNICA (Mg ha ⁻¹)	N (Kg ha ⁻¹)	P
TROPICAL			
PERENNE DE HOJA GRANDE	22.6	325	8
SEMIDECIDUO DE HOJA GRANDE	2.2	35	-
DECIDUO DE HOJA GRANDE	8.8	-	14
SUBROPICAL			
PERENNE DE HOJA GRANDE	22.1	121	5
DECIDUO DE HOJA GRANDE	8.1	-	-
TEMPLADO CÁLIDO			
PERENNE DE HOJA GRANDE	19.1	60	4
PERENNE DE HOJA ACICULAR	20.0	362	25
DECIDUO DE HOJA GRANDE	11.5	163	12
TEMPLADO FRIO			
PERENNE DE HOJA ACICULAR	44.6	200	10
DECIDUO DE HOJA GRANDE	32.2	624	50
BOREAL			
PERENNE DE HOJA ACICULAR	44.6	875	81

En regiones con estaciones marcadas, el crecimiento vegetal es bajo debido a que sólo se da en una época determinada. También ocurren variaciones climáticas ocasionadas por la fisiografía, las diferencias en la acumulación del agua y los nutrientes en el suelo que están disponibles o inmovilizados, y los disturbios en la zona. La acumulación de mantillo

también depende de su tasa de descomposición. En bosques tropicales puede acumularse hasta 22.6 Mg ha⁻¹, mientras que en los bosques templados pueden acumularse hasta 44.6 Mg ha⁻¹ (Cuadro 1.1). La acumulación del mantillo puede elevarse debido a la baja velocidad de descomposición ocasionada por la temperatura, la humedad o la baja cantidad de nutrientes.

1.2 Factores reguladores del proceso de descomposición

Lavelle y colaboradores (1993) propusieron los siguientes factores como reguladores del proceso de descomposición, los cuáles están ordenados de manera jerárquica:

I. Condiciones climáticas

El clima es el componente principal que regula el proceso de descomposición y actúa en conjunto con el resto de las características del sitio (Lavelle *et al.*, 1993). Los elementos del clima que afectan más a este proceso son la temperatura y la humedad, que influyen en la eficiencia y la velocidad de los procesos enzimáticos y favorecen la actividad de los desintegradores, que se encuentra limitada por estas características. La humedad también repercute en la filtración de los nutrientes hacia capas inferiores del suelo y genera las condiciones apropiadas para las actividades de los microorganismos y los invertebrados (Meetenmeyer, 1995; Barajas-Guzmán y Alvarez-Sánchez, 2003; Moreno, 2006).

Dependiendo de la zona donde se encuentren los ecosistemas, las condiciones climáticas pueden presentarse estables o fluctuantes a lo largo del año. Cuando existe una precipitación baja tanto la producción primaria como la descomposición se reducen provocando una baja acumulación de detritus debida a la poca entrada de materiales al suelo. Las tasas de descomposición en ambientes fríos también son bajas al reducirse el metabolismo de los descomponedores. En dichas condiciones, la descomposición se limita a los periodos de lluvias y de calor, mientras que en climas húmedos y cálidos los niveles de descomposición son elevados y continuos durante todo el año (Lavelle *et al.*, 1993).

Los bosques templados presentan una estacionalidad marcada, ya sea como las estaciones de primavera, verano, otoño e invierno, o un periodo de lluvia y otro de sequía en las regiones donde la temperatura permanece relativamente constante, y debido a que el

clima ejerce un fuerte control sobre las tasas de descomposición del mantillo también pueden ser alterados los ciclos del carbono y del nitrógeno (Shaw y Harte, 2001). Para que el mantillo se mineralice de manera óptima se necesita una temperatura entre los 10 y los 35°C y una humedad relativa del 40% o superior con un potencial hídrico del suelo de 0.05 mPa (Campbell *et al.*, 1994; Barnes *et al.*, 1998).

II. Calidad del mantillo

La calidad del sustrato, en este caso el mantillo, se refiere a la susceptibilidad del recurso a ser degradado y está determinada por las fracciones de carbono solubles y las no solubles, las relaciones lignina/nitrógeno o carbono/nitrógeno, la concentración de componentes fenólicos y el contenido de carbohidratos, fósforo y calcio (Swift *et al.*, 1979; Sariyildiz y Anderson, 2003; Moreno, 2006). La calidad cambia dependiendo de las especies vegetales de las que procede (Barajas-Guzmán y Alvarez-Sánchez, 2004; Aubert *et al.*, 2010), y se relaciona con la concentración de nutrimentos. Las ligninas y los polifenoles determinan que, en los ecosistemas, su contenido y el tipo de materia orgánica en la hojarasca se relacionan fuertemente con la velocidad de descomposición (Kavvadias *et al.*, 2001; Arango, 2006).

Un alto contenido de azúcares, proteínas y/o lípidos puede ser fácil de descomponer, y un mantillo de tan alta calidad representa la fuente principal de C y N para los organismos del suelo, además éstos son compuestos muy lábiles, por lo que su tasa de descomposición es alta (Álvarez-Sánchez, 2001; Lavelle y Spain, 2001). Un alto contenido de ligninas, complejos tanino-proteínas y otros polímeros más estructurados como celulosa y hemicelulosa y productos recalcitrantes altamente resistentes a la degradación ocasionan tasas de descomposición bajas (Sariyildiz y Anderson, 2003; Moreno, 2006), y sus componentes son de baja calidad.

La relación C/N tiene una estrecha relación con la respiración microbiana, ya que los microbios liberan CO₂ a la atmósfera y retienen el N en su biomasa o lo liberan en compuestos más sencillos o formas minerales no orgánicas (Swift *et al.*, 1979). La deficiencia de nutrientes repercute en la actividad microbiana, que los liberará en menor cantidad (Arango, 2006) e inmovilizará una mayor cantidad de biomasa (González y Seastedt, 2001). Por otro lado, los niveles altos de N favorecen la presencia de organismos

desintegradores, además se ha considerado a la relación C/N como un índice de la calidad de la hojarasca que permite predecir parcialmente la velocidad de descomposición (Attington *et al.*, 2004; Moreno, 2006): si la relación C/N es alta (>30) la materia será recalcitrante y la microbiota inmovilizará más N ocasionando que las plantas asimilen en menor cantidad los compuestos nitrogenados (Heal *et al.*, 1997; Alvarez-Sánchez, 2001)

La calidad del recurso ejerce influencia sobre la descomposición a escala geográfica sólo dentro de los límites impuestos por el medio físico del clima y los factores edáficos. También existen diferencias en la descomposición que ocurre en zonas tropicales y templadas. Pero dentro de las regiones tropicales otros factores aparecen como los determinantes en la descomposición, por ejemplo, la estructura del ensamble faunístico del suelo (Heneghan *et al.*, 1999; González y Seastedt, 2001).

La acumulación de materia orgánica en la superficie del suelo es un atributo único para los suelos forestales. La mayor parte del material contenido en el mantillo consiste en hojas, ramas, flores, frutos, conos y semillas que se han depositado en la superficie del suelo (Barnes *et al.*, 1998). En el cuadro 1.2 se enumeran los principales componentes estructurales del mantillo vegetal son:

Cuadro 1.2. Componentes estructurales del mantillo vegetal.

Componentes del mantillo	Cantidad (%)
Celulosa	15 al 60
Hemicelulosa	10 al 30
Lignina	5 al 30
Proteínas	2 al 5

En los bosques templados, la forma de vida de la planta, el hábito deciduo o perenne, los metabolitos secundarios, los compuestos fenólicos (como ligninas y taninos) contenidos en la hojarasca y la protección contra herbívoros son factores que marcan la variabilidad entre las diferentes especies vegetales durante la descomposición hasta en un 80% (Cornelissen, 1996).

III. Biota desintegradora

Los factores bióticos que afectan la descomposición están regulados por las interacciones que existen entre los micro y macroorganismos que habitan en el suelo (Barajas-Guzmán y Alvarez-Sánchez, 2003). Estos organismos pueden pasar toda o una parte de su vida sobre o dentro de cualquier capa del suelo (Arango, 2006; Moreno, 2006), y se encuentran adaptados a una serie de restricciones como un suelo compacto, baja concentración de O₂, poca luminosidad y apertura de espacios, poco alimento y de baja calidad, y cambios microclimáticos drásticos (Brown *et al.*, 2001).

Esta biota está compuesta por bacterias, hongos, vertebrados pequeños e invertebrados y, debido a su diversidad, se clasifica según sus características taxonómicas, de tamaño, distribución, relaciones tróficas y hábitat (Barajas, 1996 y Arango, 2006). Su masa llega a ser hasta seis veces mayor que la de los herbívoros y carnívoros que habitan sobre el suelo (UNESCO, 1978; Lavelle *et al.*, 1994; Lavelle y Spain, 2001; Brown *et al.*, 2004).

Según su tamaño, la biota del suelo se clasifica de la siguiente manera (Barnes *et al.*, 1998; Coleman *et al.*, 2004):

- i) Microbiota: formada por hongos y bacterias, con una biomasa que va de 1 a 100 g m⁻² y una densidad de hasta 10⁹ células g⁻¹. Pueden medir de 0.1 a 20 µm de diámetro y hasta varios metros en el caso del micelio de los hongos. Su función principal es la transformación química de la materia orgánica.
- ii) Microfauna: incluye a los protozoarios, nemátodos, rotíferos, tardígrados, ácaros, colémbolos y otros animales con un diámetro menor a los 200 µm. Su biomasa va de 1.5 a 6 g m⁻² llegando hasta 21 g. Alcanzan una densidad de hasta 10⁵ individuos m⁻² y están involucrados en la trituración del mantillo y son los principales consumidores de la microbiota.
- iii) Mesofauna: se compone por ácaros, paurópodos, sínfilos, apterigotos y larvas de insectos. Miden entre 200 µm y 10 mm, con una biomasa en el suelo de 0.01 a 10 g·m⁻² y una densidad de 100 hasta 10⁷ individuos·m⁻². Su función consiste en regular la población

microbiana por ingesta, dispersión o inoculación, y reciclar los desechos de otros organismos.

- iv) Macrofauna: incluye a los macroartrópodos, moluscos, lombrices de tierra y otros invertebrados que miden entre 10 y 20 mm de diámetro, con una biomasa de 0.1 a 2.5 g·m⁻². Alcanzan una densidad que va de 10² a 10⁵ individuos·m⁻² y, además de triturar el mantillo y ser depredadores de la fauna del suelo, muchos de ellos ocupan la función de los ingenieros del ecosistema en su entorno (sensu Jones *et al.*, 1994).

Las actividades de la fauna del suelo sobre la MOM incrementan la movilización de nutrientes y promueven la formación y el desarrollo del suelo, funcionando como reguladores bióticos de la descomposición al originar cambios físicos y químicos en los compuestos del mantillo. El ensamblaje de esta comunidad faunística y su diversidad y abundancia resulta en efectos específicos del sitio (Barajas-Guzmán y Alvarez-Sánchez, 2003). La fauna participa triturando los tejidos vegetales, incrementando la superficie de colonización para los microorganismos, consumiendo selectivamente MO, generando simbiosis con la microbiota desintegradora y mezclando la MOM con la parte mineral del suelo (Brown *et al.*, 2001; Arango, 2006).

La mayor parte de la fauna del suelo son artrópodos, con amplia riqueza de especies, un alto número de individuos, amplio espectro de hábitats y el consumo de una enorme variedad de alimentos. Estos artrópodos ofrecen servicios que propician la descomposición de la MOM por la microbiota y son importantes para el flujo de la energía y los nutrientes en el sistema. Algunos ejemplos son la conservación de la consistencia del suelo, la formación de agregados y macroporos, la filtración y retención del agua, la fragmentación del mantillo, y la incorporación de MO al suelo con una mayor área de contacto entre residuos y ambiente (Moreno, 2006; García *et al.*, 2009). Debido a estas actividades, la fauna modifica las condiciones de la materia orgánica e influye en el potencial de inoculación y la habilidad competitiva de la microbiota (Álvarez-Sánchez, 2001; Cole *et al.*, 2006).

Los microartrópodos son más abundantes en los primeros cinco centímetros de los suelos de bosques o pastizales (Coleman *et al.*, 2004). Los que tienen mayor densidad en

esta zona son los ácaros, principalmente oribátidos, siendo hasta el 65% de su total. (Cole *et al.*, 2006); seguidos por los colémbolos. Los microartrópodos llegan a alcanzar densidades de 100,000 o más individuos m^{-2} de suelo, y una masa de $5 g m^{-2}$, su número declina rápidamente al aumentar la profundidad y la mayoría está confinada a las capas del mantillo o los 10 cm superiores de la superficie edáfica. Contribuyen de manera significativa a la formación de agregados edáficos a través del fraccionamiento del tejido vegetal y su asociación con hifas fúngicas y la deposición de material fragmentado vía heces fecales (Lee y Foster, 1991)

Otro gremio abundante de la fauna del suelo son las lombrices. A estas se les separa en tres grupos funcionales diferentes. Epigeas, que viven y se alimentan sobre la superficie del suelo en las capas del mantillo; anécicas, que se alimentan en la superficie pero tienen madrigueras en el suelo; y endógeas, que viven siempre en el suelo. Son las principales removedoras y mezcladoras del suelo. La cantidad de turrículos (heces de lombrices) depositados en el suelo va desde 2 hasta $250 Mg ha^{-1} año^{-1}$ en suelos templados. (Lee y Foster, 1991).

IV. Características del suelo

El suelo es el material no consolidado que sirve como sustrato y superficie a los organismos que habitan en el bosque. Está formado por una parte sólida (arcillas, limos y arenas), una líquida (agua) y una gaseosa (aire), además contiene materia orgánica (Swift *et al.*, 1979).

La forma en la que está acomodado el suelo en capas u horizontes indica su proceso de desarrollo: la capa más profunda u horizonte C está formada principalmente por el material parental (rocas sobre las que está establecido el sitio) no consolidado fuera del alcance de los procesos que dan origen a la formación de las otras capas; el horizonte B resulta a partir del proceso de iluviación y se distingue porque acumula sustancias de los horizontes superiores, como el humus; el horizonte A, que marca la superficie del suelo mineral y se caracteriza por la filtración de sustancias a los horizontes inferiores; y la acumulación de MO del horizonte H, que se ubica sobre la superficie edáfica (Coleman *et al.*, 2004).

El horizonte O sólo se forma en suelos forestales, y consiste en material vegetal acumulado dependiendo del grado de descomposición en el que se encuentre: O_i , material

fresco; O_e , material fragmentado y poco descompuesto; O_a , material muy descompuesto y cuyo origen es indefinible (Barnes *et al.*, 1998; USDA, 2010).

Por todo lo anterior, el flujo de materia y energía que marca el funcionamiento de los ecosistemas se encuentra regulado por factores abióticos y bióticos y dentro de estos últimos se ubica la fauna del suelo, la cual desempeña un papel relevante en la reincorporación de los nutrientes al suelo para que sean tomados nuevamente por las plantas y se reinicie la productividad primaria dentro del ecosistema. Tanto la productividad como la descomposición se encuentran ubicadas en los servicios ecosistémicos (SE) de soporte de los ecosistemas. Estos SE del ecosistema sirven como pilares o soportes de aquellos tangibles para la sociedad. De ahí la enorme importancia que tiene el describir y entender el papel que juegan los factores bióticos implicados en los procesos del ciclaje de nutrientes y flujo de energía en los ecosistemas.

En el caso de la Cuenca del Río Magdalena (CRM), que es un conjunto de ecosistemas valioso por los SE que brinda a las delegaciones del suroeste de la Ciudad de México como la cantidad y calidad de agua que aporta a la cuenca, el paisaje y recursos no maderables del bosque entre otros (Villarruel, 2007; Briones, 2011). Se tienen datos relevantes de riqueza de la comunidad, la calidad del agua y las condiciones ambientales, pero existen pocos estudios relacionados con los procesos de este ecosistema. Estos estudios son importantes porque si los procesos no se realizan de la manera adecuada, la CRM poco podría ofrecer a la sociedad aledaña.

El presente estudio se realizó para conocer y describir los cambios en la fauna del suelo de los diferentes tipos de bosque encontrados en la CRM, esperando que el conocimiento generado contribuya a un mejor entendimiento de los procesos para que la conservación y el manejo de esta área se lleve a cabo de manera exitosa.

2. ANTECEDENTES

2.1 La biota y fauna edáfica

En la segunda mitad del siglo XX, en México se incrementó el estudio de la fauna del suelo (Fragoso *et al.*, 2001), por lo que se ha realizado investigación relacionada con este campo. La mayor parte de estos trabajos se enfocó hacia estudios taxonómicos. Fueron pocos los estudios que tuvieron un enfoque ecológico y éstos se realizaron principalmente en zonas tropicales del país.

Los estudios de la fauna y su relación con el mantillo fueron iniciados por Martínez en 1980, que midió la velocidad de descomposición de éste dependiendo del diámetro de la malla de las bolsas que lo contenían, se observó que la descomposición más rápida ocurría en bolsa de malla grande debido a la entrada de fauna de mayor tamaño. Otros trabajos relacionados con la fauna de la descomposición y los cambios que se realizan en esta comunidad conforme se pierde masa del mantillo foliar contenido en bolsas de malla de diferentes aberturas fueron realizados por Barajas-Guzmán y Alvarez-Sánchez (2003) y Arango (2006) o en troncos de diferentes medidas de diámetro (Moreno, 2006). También hay estudios de la fauna asociada a diferentes estadios sucesionales de la vegetación y los cambios debidos a especies con calidad de sustrato diferentes (Bueno y Barois, 1997; Brown *et al.*, 2004;). La mayoría de los estudios de la fauna del suelo en México se realizan en zonas tropicales (Barajas, 1996; Brown *et al.*, 2001; Fragoso *et al.*, 2001; Brown *et al.*, 2004) y se ha observado que las zonas mejor conservadas presentan una diversidad mayor a las zonas con disturbios o en estadios sucesionales tempranos (Martínez-Falcón, 2006).

2.2 Estudio en los bosques templados

En cuanto a los estudios sobre fauna del suelo realizados en el mundo, se ha observado que la contribución relativa de la fauna a la descomposición es dependiente de la región climática, siendo mayor en latitudes medias y decreciendo hacia los polos (Swift *et al.*, 1979; Lavelle y Spain, 2001).

Al incrementar la descomposición en climas templados y tropicales húmedos, los animales del suelo son considerados reguladores clave a escala local, pero los efectos ocasionados son neutros en regiones donde la temperatura o la humedad son elementos limitantes de la actividad biológica (Shaw y Harte, 2001; Wall *et al.*, 2008). También se ha visto que la macrofauna tiene mayor diversidad en las regiones tropicales, por lo que su influencia es mayor sobre la descomposición de la materia y la formación y el mantenimiento de la estructura del suelo en estas zonas (Swift *et al.*, 1979; Wall *et al.*, 2008). A la macrofauna pertenecen tres ingenieros del ecosistema: termitas, hormigas y lombrices (Brussard *et al.*, 2007), pues son capaces de alterar su medio físico y químico y con ello promover y aumentar los procesos y las propiedades del subsistema edáfico.

En cuanto a la mesofauna, ésta aumenta su diversidad en zonas templadas y frías (Swift *et al.*, 1979; Lavelle y Spain, 2001), y está caracterizada principalmente por ácaros y colémbolos (Coleman *et al.*, 2004) y su principal actividad es el control de la población de la microbiota desintegradora (Wardle, 2002).

Se ha observado que la fauna del suelo es dependiente de las variaciones estacionales del ambiente en ecosistemas sujetos a estos cambios (Lavelle y Spain, 2001). Por ejemplo, el aumento de las poblaciones de ciertos microartrópodos depende del incremento de la humedad (Kavaadias *et al.*, 2001), la temperatura o ambas (Sharon *et al.*, 2001). Estas poblaciones decrecen con los periodos de sequía o la disminución de temperaturas.

Otros estudios indican que existe una relación positiva entre la riqueza de especies de la meso y macro fauna y la pérdida de masa del mantillo, que puede ser significativa. La fauna de tamaños mayores contribuye más en latitudes ecuatoriales (Heneghan *et al.*, 1999; Barajas-Guzmán y Alvarez-Sánchez, 2003) y la microfauna es de mayor importancia hacia los polos (Wall *et al.*, 2008). Heneghan y colaboradores (1999) también realizaron un estudio de descomposición en un bosque templado y dos tropicales y observaron que la fauna contribuía a la pérdida de peso del mantillo hasta en un 37%.

La fauna edáfica también se ve afectada por la cantidad de nutrientes existentes en el mantillo y el suelo, así como por el manejo y uso que se le da al sitio donde se encuentran. Los efectos directos de esto se notan en el cambio de la estructura de las comunidades vegetales, principalmente en el aumento, la aparición, la disminución o desaparición de las especies que la componen (Wardle, 2002; Huhta, 2007). Los efectos indirectos son producidos al alterarse la composición florística de la zona o su productividad, lo que origina modificaciones en la comunidad edáfica (Cole *et al.*, 2006). Se ha visto que la predominancia de cada grupo varió de acuerdo al ecosistema, el uso de suelo y la región geográfica (Shaw y Harte, 2001; Wall *et al.*, 2008). En el sustrato mineral del suelo, las lombrices son las que dominan en abundancia y biomasa, mientras que los artrópodos epigeos dependen de la presencia de hojarasca para su supervivencia, dando como resultado una mayor abundancia en suelos de bosques y pastizales (Brown *et al.*, 2001)

3. OBJETIVOS

GENERAL

Describir la variación de la fauna del mantillo en los tres tipos de vegetación dominantes de la cuenca del Río Magdalena, D. F.

PARTICULARES

- a) Realizar un listado taxonómico a nivel de orden de la fauna que habita el mantillo de los tres bosques principales de la CRM a partir de su extracción e identificación.
- b) Describir los cambios espaciales de la fauna del mantillo en la CRM.
- c) Describir los cambios temporales de la fauna del mantillo en la CRM
- d) Relacionar los cambios espacio-temporales de la fauna con el microclima y la calidad del mantillo.

4. HIPÓTESIS

Los cambios estacionales generan variaciones en las características climáticas de los ecosistemas. Por eso se espera que la composición y la abundancia de la meso y macrofauna sean diferentes en los tres tipos de bosque debido a las diferentes condiciones microclimáticas que presenta: la mayor abundancia y el número más alto de grupos taxonómicos se presentarán en el bosque con la temperatura y la humedad más altas y menos fluctuantes.

La calidad del mantillo es otro factor que influye en las características de la biota. Si la calidad del mantillo presenta diferencias significativas se espera que en el mantillo con la relación C/N más baja se presente la mayor abundancia y el número más alto de grupos taxonómicos.

5. ZONA DE ESTUDIO

La cuenca alta del Río Magdalena de la Delegación Magdalena Contreras del Distrito Federal se encuentra ubicada al SO del Valle de México, entre las coordenadas 99° 16' y 99°18' O y 19°15'45" y 19°15'30" N. Pertenece a una vertiente occidental de la Sierra de las Cruces, dentro de la provincia fisiográfica del Sistema Volcánico Transmexicano, dentro de la provincia florística de las serranías meridionales, en la región Mesoamericana de Montaña. La delegación tiene una superficie territorial de 7,458.43 ha, lo que representa el 5.1% del total del territorio del D.F. De toda la superficie de la delegación, el 82.05% (6119.46 ha) es área de conservación ecológica y el 17.95% restante (1,338.97 ha) tiene uso de suelo urbano (Figura 5.1).

La Sierra de las Cruces, cuya edad se registra de principios del Terciario, presenta una dirección NE-SO. Existen conos volcánicos erosionados o sepultados por formaciones posteriores, como el Cono de San Miguel (3,375 m s.n.m.) y el Cono de La Palma (3,789 m s.n.m.).

En el área se observan tres unidades determinadas por sus condiciones topográficas y estructurales: la región montañosa contiene las mayores elevaciones con picos superiores a los 3,500 m hasta grandes macizos rocosos de 3,000 m s.n.m., su estructura litológica disminuye procesos de intemperización mecánica en la roca; la región de talud transicional comprende entre los 2,600 y los 3,400 m s.n.m. y tiene los cambios de pendiente más notorios; y la región baja, localizada entre los 2,240 y los 2,600 m s.n.m., que corresponde al nivel de la base del río (Luis, 1987).

El Río Magdalena se localiza a lo largo de la Cañada de Contreras, también conocida como Cañada de los Dinamos. Su volumen de agua permanente es de aproximadamente 1m^3 su escurrimiento máximo estimado es de $20.1\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ y la longitud de su cauce principal es de 19.7 Km. Nace en las faldas del Cerro de la Palma a 3,789 m s.n.m., situado en la Serranía de las Cruces, y está alimentado por numerosos manantiales como Pericos, Mal Paso,

Apaxtla, Las Ventanas, Potrero, etc. Estos cuerpos de agua surten a una gran parte de la zona urbana de la Delegación Magdalena-Contreras

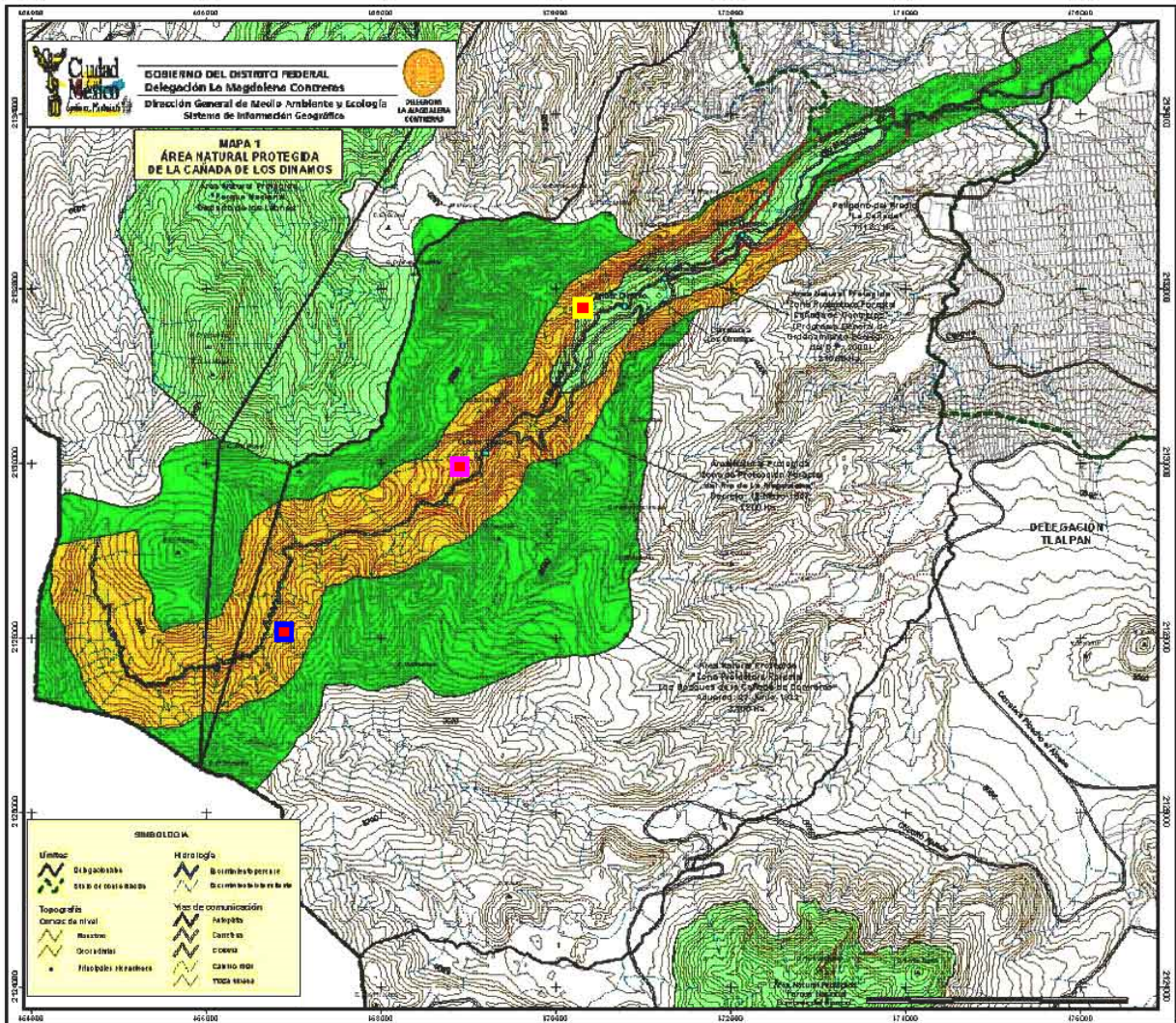


Figura 5.1 Ubicación de la Delegación Magdalena Contreras y mapa de la ANP Cañada de los Dinamos, donde se encuentra localizada la CRM. Modificado de Delegación Magdalena Contreras, 2011. Los cuadros señalan las parcelas donde las muestras fueron recolectadas ■ *P. hartwegii*, ■ *A. religiosa*, ■ Mixto de Quercus.

5.1 Suelo

Los suelos de la Cañada de Contreras son Andosoles derivados de vidrios volcánicos, generalmente ácidos, de fácil erosión, fijadores de fosfato y son buen soporte de bosques de coníferas; entre la zona urbana y el primer dinamo se encuentra Andosoles húmicos; entre el primer dinamo y el tercero se encuentra Litosol. Los suelos están expuestos a una intensa erosión fluvial y eólica (sobre todo por la pendiente) dando como resultado la formación de un relieve abrupto (Luis, 1987).

Los Andosoles se caracterizan por ser suelos jóvenes con un desarrollo limitado del perfil. Están formados principalmente por materiales coluviales y aluviales (acumulados por erosión por lluvia o gravedad). Se derivan de cenizas y otros materiales volcánicos. Los Leptosoles o Entisoles son suelos en cuyo perfil no hay horizontes o se encuentran poco desarrollados y mezclados con grava. El material parental está en la superficie y generalmente es de origen aluvial (UNESCO, 1974).

5.2 Clima

En la parte baja comprendida entre los 2,400 y 2,800 m s.n.m. se presenta el subtipo $C(w_2)(w)(b)i^3g$, donde se incluyen el área entre las estaciones Presa Anzaldo, Dínamo No. 1 y La Venta, con un clima templado subhúmedo (el más seco de los subhúmedos), con lluvias en verano. La temperatura media anual oscila entre los 12 y los 18° C, con -3 a 18° C en el mes más frío y 6.5 a 22° C en el más cálido.

En la parte alta, de los 2,800 a los 3,500 m s.n.m., el clima es $C(w_2)(w)(b')ig$ que sólo difiere del anterior por presentar un verano fresco corto y una oscilación térmica menor a 5° C; temperatura localizada a partir del dinamo No.3.

A medida que se asciende por las laderas montañosas, la temperatura disminuye en una proporción promedio de 4.9° C por Km de altitud. En la parte más alta de la sierra de las Cruces se tiene una temperatura promedio de 5 o 6° C.

La temporada de lluvias se presenta en verano, siendo julio el mes con mayor precipitación al alcanzar valores superiores a los 250 mm. El porcentaje de lluvia invernal es menor del 15% del total anual; los porcentajes altos de lluvia para el periodo mayo-octubre varían del 80 al 94%, lo que indica que el régimen de lluvias que prevalece en la zona es de verano (García, 1988).

5.3 Vegetación

Los tipos de vegetación presentes en el área, de acuerdo con la clasificación de Rzedowski (1990) son: bosque de *Pinus hartwegii*, bosque de *Abies religiosa* y bosque de *Quercus*, distribuyéndose a lo largo de un gradiente altitudinal que va desde los 2,500 a más de 3,500 m s.n.m., esto es debido a la presencia de un gradiente climático y a las condiciones de humedad de la zona. La vegetación arborea presenta las siguientes especies: *A. religiosa*, *P. montezumae*, *P. hartwegii*, *Cornus disciflora*, *Garrya laurifolia*, *Ilex toluhana*, *Meliosma dentata*, *Oreopanax xalapensis*, *Prunus brachybotrya*, *Q. laurina*, *Q. rugosa* y *Arbutus xalapensis*, entre otras.

El bosque de *P. hartwegii* se encuentra entre los 2,350 y los 4,000 m s.n.m. (Rzedowski y Rzedowski, 2001), es una comunidad abierta caracterizada por la dominancia del sustrato arbóreo monoespecífico de *P. hartwegii* y el herbáceo dominado por gramíneas como *Festuca toluensis* y *Muhlenbergia quadridentata*. Su cobertura vegetal es del 65% (Nava, 2003).

El bosque de *A. religiosa* está confinado a altitudes que van desde los 2,700 a los 3,500 m s.n.m.; se localiza en laderas de cerros que se encuentran protegidos de la acción de vientos fuertes y de la insolación, ocasionando un clima característico del oyamel (Rzedowski y Rzedowski, 2001). Se considera como un bosque perennifolio, denso y alto, con un dosel de 20 a 40 m; presentando uno o dos estratos arbóreos con una densidad de la cubierta arbustiva y herbácea escasa. El estrato arbóreo es dominado por *A. religiosa*, aunque a veces los rodales son acompañados en la parte inferior por *P. montezumae* y en la parte superior por *P. hartwegii*.

El bosque mixto de *Quercus* se localiza entre los 2,500 y 3,100 m s.n.m. Forma un ecotono con *Abies* entre 2,800 y 3,100 m s.n.m.; se ubica en las laderas de mayor exposición a la insolación así como con fuertes corrientes de aire. Este bosque presenta una altura aproximada entre los 8 y 15 m, es moderadamente denso y muchos de sus elementos son caducifolios, perdiendo sus hojas por un periodo de varias semanas, algunos de ellos son subperennifolios o prácticamente perennifolios. Entre los 2,500 y los 2,800 m s.n.m. el estrato arbóreo superior está dominado por *Q. rugosa*, que en algunos puntos forma rodales puros, aunque casi siempre se encuentra asociado con *Q. mexicana* o bien con *Q. crassipes*; otros géneros representados son *Pinus* y *Cupressus*. A una altitud mayor de los 2,800 m s.n.m. tiene mayor importancia el encinar de especies tales como *Q. laurina*, asociado con *Q. crassifolia*, *Q. rugosa* y *Arbutus xalapensis*, el piso inferior del estrato arbóreo se conforma por *A. religosa* y *Pinus* spp., con un abundante estrato herbáceo de especies de las familias de las compuestas y gramíneas, entre otras (Rzedowski, 1978).

5.4 Vegetación dominante

Pinus hartwegii Lindl.

Árbol siempre verde, de 5 a 30 m de altura; tronco con un diámetro hasta de 75 cm, corteza gruesa y áspera, dividida en placas irregulares, ramas extendidas; hojas de 4 ó 5 fascículos; amentos masculinos de 2.5 cm de largo; conos de 14 cm de largo por 8 de diámetro, dispuestos por pares; semillas de 8 mm de largo con ala de 20 mm. Se encuentra entre 2,600 y 4,200 m s.n.m. de altitud, en bosques que forman el último nivel arbóreo de la vegetación (Figura 5.2; Calderón y Rzedowski, 2005). El bosque de *P. hartwegii* de la CRM tiene una productividad promedio de 5.89 Mg ha⁻¹ año⁻¹, y acumula anualmente un promedio de 2.16 Mg ha⁻¹ año⁻¹ de mantillo (Delgadillo, 2011).



Figura 5.2 Bosque de *P. hartwegii* en la CRM. Imagen del paisaje de Delgadillo en 2007 e imagen de conos tomada de Gernandt (2011)

Abies religiosa (H. B. K.) Cham. y Schlecht.

Son árboles siempre verde, de hasta 60 m de altura; tronco con un diámetro de 40 c. a 1.5 m, corteza lisa en los árboles jóvenes y gruesa con placas escamosas en los adultos, ramas horizontales; hojas alternas, sésiles, de 19 a 70 mm de largo. Inflorescencias en forma de cono, de 4 a 7 cm de largo las masculinas, y las femeninas de hasta 16 cm cuando están maduras; semillas resinosas de 10 mm de largo por 5 mm de ancho. Se le conoce como oyamel y está presente en altitudes que van de 2,600 a 3,500 m s.n.m. (Figura 5.3; Calderón y Rzedowski, 2005). En la CRM, el bosque de *A. religiosa* tiene una productividad promedio de $10.79 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, y acumula anualmente un promedio cercano $5.00 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de mantillo (Delgadillo, 2011).



Figura 5.3 Bosque de *Abies religiosa* en la CRM. Imagen del paisaje de Delgadillo en 2007 e imagen de conos de Mills, 2010.

Quercus laurina Humb. y Bonpl.

Árbol de 4 a 20 o más m de altura; tronco hasta de 1 m de diámetro, ramillas de 1 a 2 mm de diámetro; hojas de 4 a 13 cm de largo, borde engrosado, haz y envés lustrosos; frutos con cúpula hemisférica, de 12 a 15 mm de diámetro con las escamas canescentes o glabras, bellotas ovoides, de 15 a 17 mm de largo. Abundante en laderas altas de los cerros que rodean al Valle en los sitios cubiertos por bosques de pino y encino o bosques de oyamel situados entre 2,500 y 3,100 m s.n.m. de altitud (Calderón y Rzedowski, 2005).



Figura 5.4 Bosque de *Quercus* spp. en la CRM. Imagen del paisaje de Delgadillo en 2007.

Detalle de *Q. rugosa* de WMNU, 2010; y de *Q. laurina* de Garenbreizh, 2010.

Quercus rugosa Née

Arbusto o árbol hasta de 20 m de altura o más; tronco con un diámetro hasta de 1 m o más, ramillas de 2 a 4 mm de diámetro, hojas muy gruesas, rígidas y coriáceas, frecuentemente cóncavas por el envés, muy rugosas, de 5 a 20 cm de largo por 3 a 13 cm de ancho, margen engrosado, haz lustroso y glabro, envés tomentoso con pelos ramificados y pelos glandulares abundantes vermiformes de color ámbar o rojizo, epidermis glauco-cerosa, papilosa y ampulosa; fruto con cúpula de 10 a 15 mm de diámetro, bellota ovoide, de 10 a 25 mm de largo por 8 a 15 mm de diámetro. En el Valle de México es abundante, formando partes de los bosques de pino y encino o en los encinares que cubren la parte alta de los cerros entre 2,500 y 3,150 m s.n.m. de altitud. (Calderón y Rzedowski, 2005)

El bosque de *Quercus* de la CRM (Figura 5.4) tiene una productividad promedio de 10.52 Mg ha⁻¹ año⁻¹, y acumula anualmente un promedio cercano a los 5.00 Mg ha⁻¹ año⁻¹ de mantillo (Delgadillo, 2011).

5.5 Fauna

La fauna representativa corresponde a ecosistema de montaña: halcón (*Falco* spp, colibrí, lechuza, búho, jilguero, lagartija, coyote, venado cola blanca, lagomorfos y tuza entre otros. Los animales de hábitos insectívoros son relativamente diversos, por ejemplo musaraña y murciélago. Se conocen también gran cantidad de murciélagos omnívoros y nectívoros. El armadillo es el único desdentado que habita en la zona. La avifauna comprende algunas especies propias de zonas boreales, principalmente columbiformes y passeriformes; los colibríes están bien representados. A pesar de la presión antrópica que recibe la zona, los bosques de la CRM sirven de resguardo para muchas aves antes ubicadas en la Ciudad de México (Ortega, 2008). La herpetofauna es escasa pero existen varias especies de anfibios y reptiles propios el Eje (Fernández, 1997).

6.- MÉTODOS

Se trazó una parcela de 50 x 50 m en cada uno de los tres tipos de bosque con las siguientes coordenadas: *Pinus hartwegii*: 19° 17.32' N, 99° 20.58'O; *Abies religiosa*: 19° 15.25' N, 99° 19.12' O; y bosque mixto de *Quercus*: 19° 17.19' N, 99° 16.34' O. De cada parcela se recolectaron al azar 15 muestras de mantillo (P₁₋₁₅, A₁₋₁₅, Q₁₋₁₅) con un aro metálico de 25 cm de diámetro (491cm²) durante un día cada dos meses durante un año entre mayo 2007 y mayo 2008 (Tabla 6.1). Cada muestra recolectada fue guardada en una bolsa de plástico etiquetada con el tipo de bosque, número de colecta y número de muestra para su análisis en el laboratorio.

Tabla 6.1 Fechas de las colectas realizadas

COLECTA	FECHA	INTERVALO DE COLECTA (días)
T1	31 de mayo de 2007	∅
T2	15 de agosto de 2007	76
T3	2 de octubre de 2007	48
T4	31 de enero de 2008	121
T5	31 de marzo de 2008	60
T6	26 de mayo de 2008	56

En el laboratorio de Ecología de suelos de la Facultad de Ciencias, UNAM, durante los primeros cuatro días después de cada colecta, se realizó una extracción de la fauna observada a simple vista, poniendo principal interés en la fauna de cuerpo blando o frágil. La fauna encontrada fue depositada en frascos con alcohol al 70%. Después las muestras de mantillo se colocaron en embudos de Berlese-Tullgren (Macfadyen, 1961; Pedigo, 2006) durante un periodo de dos días a temperatura ambiente y dos días con focos de 60 W encendidos para obtener organismos de menor tamaño, la fauna se extrajo en los frascos ya marcados y se fijó en alcohol al 70%. Las muestras fijadas se revisaron bajo microscopio estereoscópico (Olympus SZ60) con ayuda de pincel y cuchara entomológica para obtener la mesofauna. Los organismos encontrados fueron contabilizados y separados a nivel de orden, excepto Acari, Oligochaeta y Gastropoda, que se separó a nivel de clase.

El mantillo revisado se guardó en bolsas de papel y se secó en un horno Binder E3 a 80°C durante 48 horas. Después se obtuvo el peso seco del mantillo mediante una Báscula O-House y se envió al Laboratorio Especializado de Fertilidad de Suelos en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Estado de México, para conocer la cantidad de C, N y P totales. La determinación de la concentración de C se realizó por combustión seca en un analizador automático de carbono Shimadzu modelo TOC 5000 (Anderson e Ingranm, 1993).

La determinación de la concentración de Nitrógeno se llevó a cabo por digestión húmeda con la mezcla ácido sulfúrico-salicílico y destilación semimicro Kjeldahl por arrastre de vapor y titulación con ácido sulfúrico 0.05N (Anderson e Ingranm, 1993).

La concentración del fósforo se obtuvo por el método de Olsen (Olsen y Sommers, 1982; Anderson e Ingranm, 1993).

En el análisis estadístico de los resultados se aplicó la prueba de ANDEVAS de dos vías (tipo de bosque y tiempo) para las variables de abundancia y riqueza taxonómica, y cuando se presentaron diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey, ambas pruebas a un $\alpha = 0.05$ (Statistica 6.0). Se realizó la prueba de χ^2 para determinar si existían diferencias significativas en la riqueza taxonómica de los tres tipos de bosque y entre la abundancia de los mismos. También se obtuvo el mejor modelo para la relación entre el peso del mantillo y el número de individuos, variables de microclima y número de individuos y variables de la calidad del matillo y número de individuos (Table Curve 2D).

7.- RESULTADOS

7.1 Diversidad taxonómica

Se registraron un total de 41,422 organismos pertenecientes a 27 taxones en los tres tipos de bosque. El bosque con mayor abundancia fue el de *Pinus hartwegii*, con 21,633 organismos registrados, en segundo lugar se encuentra el bosque de *Quercus* con 10,924 y al final está *Abies religiosa* con 8,865 (Figura 7.1). Al aplicar la prueba de χ^2 se encontraron diferencias entre la abundancia de organismos de los diferentes bosques ($\chi^2_{0.05,2} = 46,706.79$; $P < 0.05$).

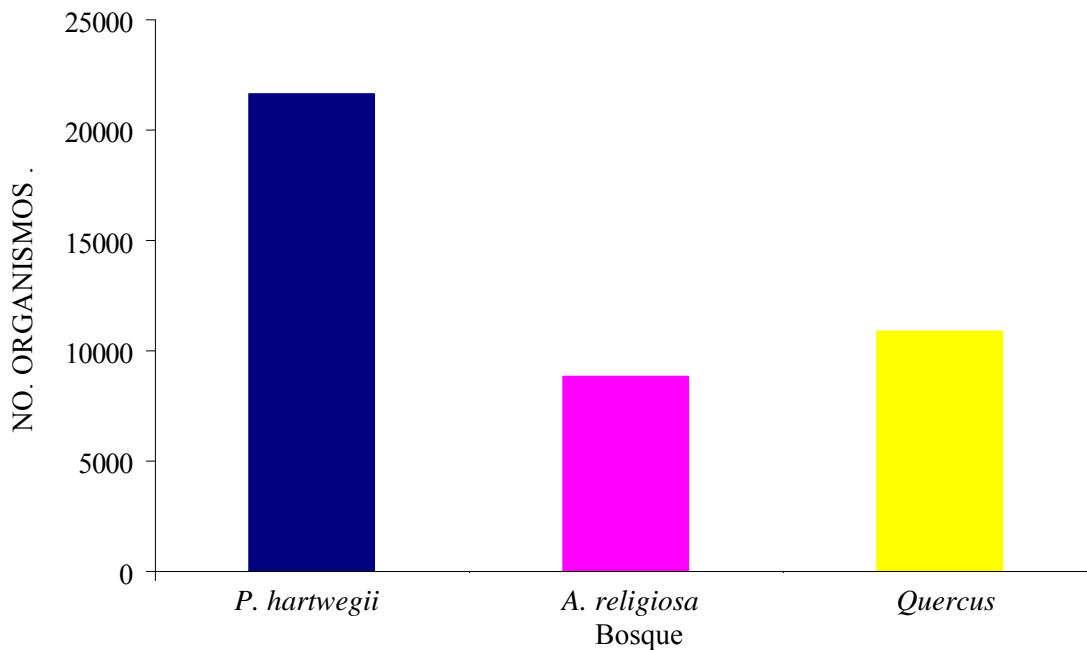


Figura 7.1 Total de organismos encontrados en cada tipo de bosque.

$$(\chi^2_{0.05,2} = 46,706.79; p > 0.05).$$

Por análisis de varianza se encontraron diferencias significativas en la densidad promedio de organismos de acuerdo al tipo de vegetación ($F_{2,267} = 5.4$; $p = 0.005$); la densidad promedio para *P. hartwegii* fue de 4,897 org m⁻² (± 896), *A. religiosa* con 2,007 org m⁻² (± 252) y *Quercus* con 2473 org m⁻² (± 402) (Figura 7.2).

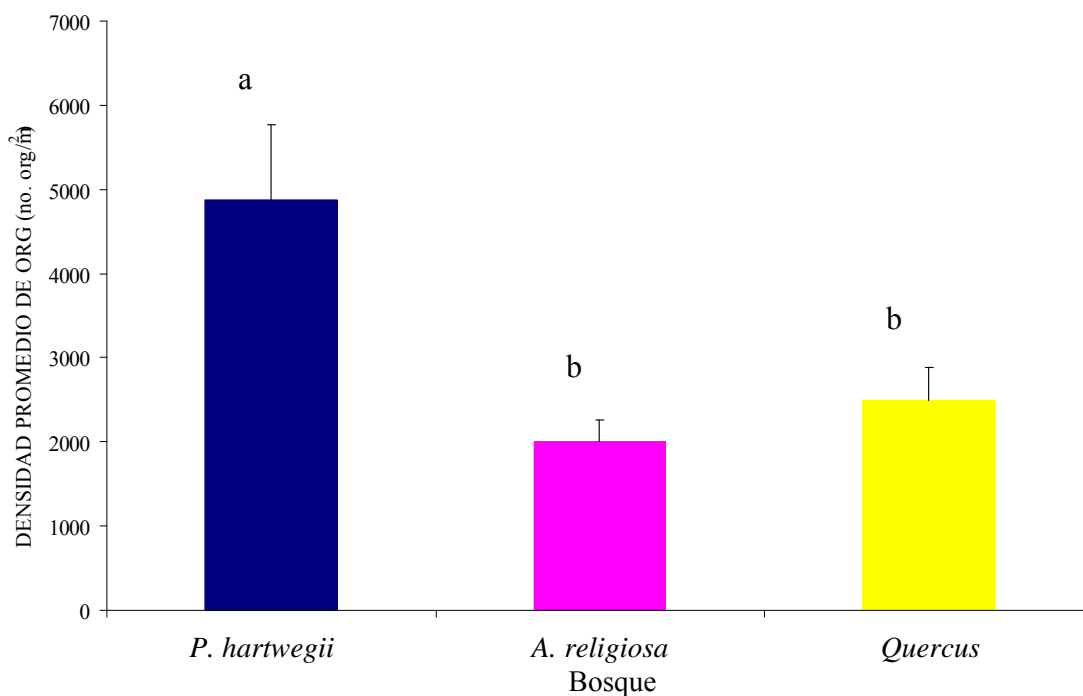


Figura 7.2 Densidad promedio de organismos por metro cuadrado y error estándar de cada tipo de bosque de la CRM.

En cuanto a riqueza taxonómica fueron registrados 27 taxones diferentes que incluyen 21 órdenes y se formó un grupo especial para larvas (Figura 7.3). El tipo de bosque con mayor riqueza taxonómica fue *Quercus*, en donde se registraron 25 grupos diferentes. *P. hartwegii* y *A. religiosa* tienen menor riqueza, con 21 y 20 taxones respectivamente (Figura 7.3). Al aplicar la prueba de χ^2 , el número de grupos taxonómicos encontrados en cada uno de los bosques no fue diferente significativamente ($\chi^2_{0.05,2}=0.63$; $p > 0.05$).

En el cuadro 7.1 aparecen los taxones identificados en la CRM, algunos de ellos hasta nivel de orden o suborden. A pesar de que los ácaros se identificaron a nivel de orden, sólo se contabilizaron como subclase.

Cuadro 7.1 Taxones registrados en los bosques de la CRM

PHYLUM	SUBPHYLUM	CLASE	SUBCLASE	ORDEN	SUBORDEN
ANNELIDA		CLITELLATA	OLIGOCHAETA HIRUDINOIDEA	APLOTAXIDA HIRUDINIDA	
ARTHROPODA	CHELICERIFORMES	CHELICERATA	ACARI ARACHNIDA	CRIPTOSTIGMATA MESOSTIGMATA ASTIGMATA ARANEAE OPILIONES PSEUDOSCORPIONIDA	
	CRUSTACEA HEXAPODA	MALACOSTRACA ENTOGNATA	EUMALACOSTRACA	ISOPODA COLLEMBOLA PROTURA THYSANURA BLATTODEA DERMAPTERA ORTHOPTERA EMBIOPTERA PSOCOPTERA THYSANOPTERA HEMIPTERA	HETEROPTERA HOMOPTERA
	MYRIAPODA	DIPLOPODA CHILOPODA GASTROPODA	ZYGENTOMA PTERIGOTA	COLEOPTERA DIPTERA TRICHOPTERA LEPIDOPTERA HYMENOPTERA	
MOLLUSCA			PULMONATA		

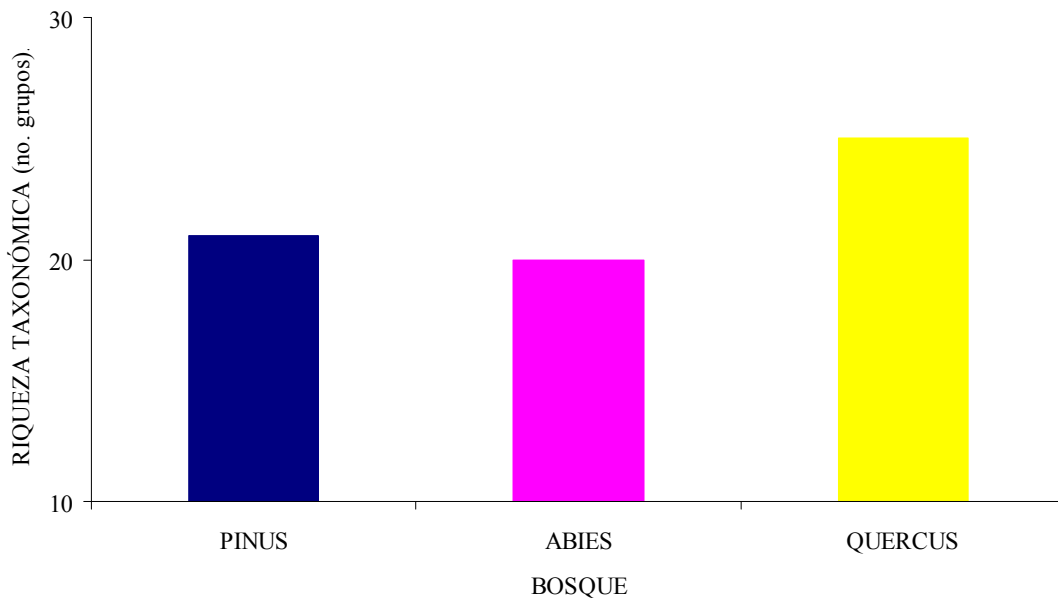


Figura 7.3 Riqueza taxonómica de cada tipo de bosque ($\chi^2_{0.05,2}=0.63$; $p > 0.05$) de la CRM.

Se aplicó el índice de similitud de Sorensen a los tres tipos de vegetación y los resultados indicaron que las zonas con mayor similitud son *P. hartwegii* y *A. religiosa*, con un valor de 0.878 y las de menor son *A. religiosa* y *Quercus* con 0.800 (Cuadro 7.2). Los tres bosques comparten 17 taxones; por separado *A. religiosa* comparte con *P. hartwegii* y con *Quercus* 18 taxones y *P. hartwegii* comparte con *Quercus* 20 taxones. Existen 10 taxones que no se encuentran en todos los bosques (Cuadro 7.3).

Cuadro 7.2 Índice de similitud de Sorensen

	P	A	Q
P	1		
A	0.878	1	
Q	0.870	0.800	1

Durante el año, la abundancia de la meso y macrofauna en los tres tipos de vegetación tuvo pocas variaciones, pero en la primera colecta (mayo de 2007) realizada en *A. religiosa* ($F_{5,84} = 6$; $p < 0.0001$) y *Quercus* ($F_{5,84} = 27.4$; $p < 0.0001$) se encontró una abundancia

significativamente mayor a la de las demás colectas. Durante la última colecta, realizada en mayo de 2008, se muestra un incremento significativo en los individuos encontrados en *P. hartwegii* ($F_{5,84} = 10.1$; $p < 0.0001$) y *Quercus* ($F_{5,84} = 27.4$; $p < 0.001$) (Figura 7.4). *P. hartwegii* tiene una tendencia más marcada, al iniciar con sólo 69 individuos en promedio y terminar con una abundancia de 775 individuos en promedio por cada muestra.

Cuadro 7.3 Taxones con menos de 100 individuos durante las seis colectas en el total de las muestras

TIPO DE VEGETACION	FECHA DE COLECTA	BLATTODEA	DERMAPTERA	DIPLOPODA	EMBIOPTERA	GASTROPODA	HIRUDINEA	ISOPODA	LEPIDOPTERA	OPILIONES	ORTHOPTERA	PROTURA	PSEUDO-SCORPIONIDA	TRICHOPTERA	ZYGENTOMA
<i>Pinus</i>	May-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>hartwegii</i>	Ago-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oct-07	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Ene-08	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	Mar-08	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	26	0	0
	May-08	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Abies religiosa</i>	May-07	0	0	0	0	3	0	1	0	1	0	0	0	1	0
	Ago-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Oct-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ene-08	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mar-08	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quercus</i>	May-07	0	1	8	0	24	0	7	1	1	1	0	0	0	1
	Ago-07	1	0	9	1	1	0	4	0	1	1	0	0	0	0
	Oct-07	0	4	12	0	2	0	6	0	0	0	0	0	0	0
	Ene-08	0	6	19	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mar-08	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	May-08	0	6	19	0	11	1	35	0	22	0	0	4	0	1
	TOTAL		2	22	70	1	48	1	55	1	26	2	1	30	3

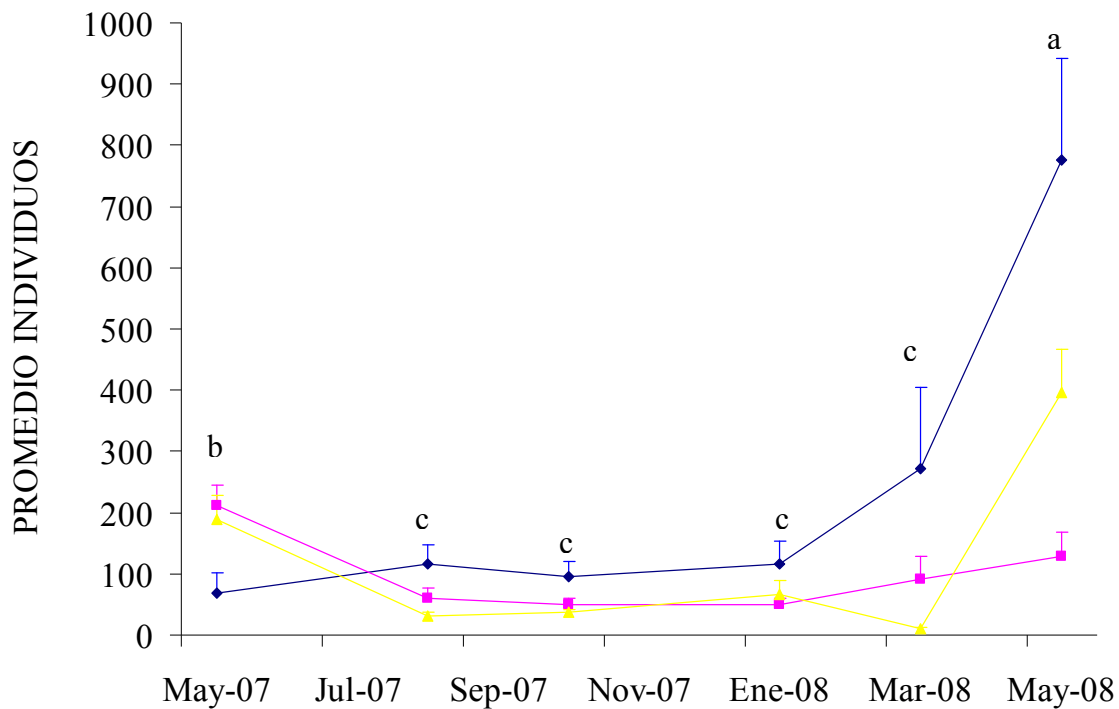
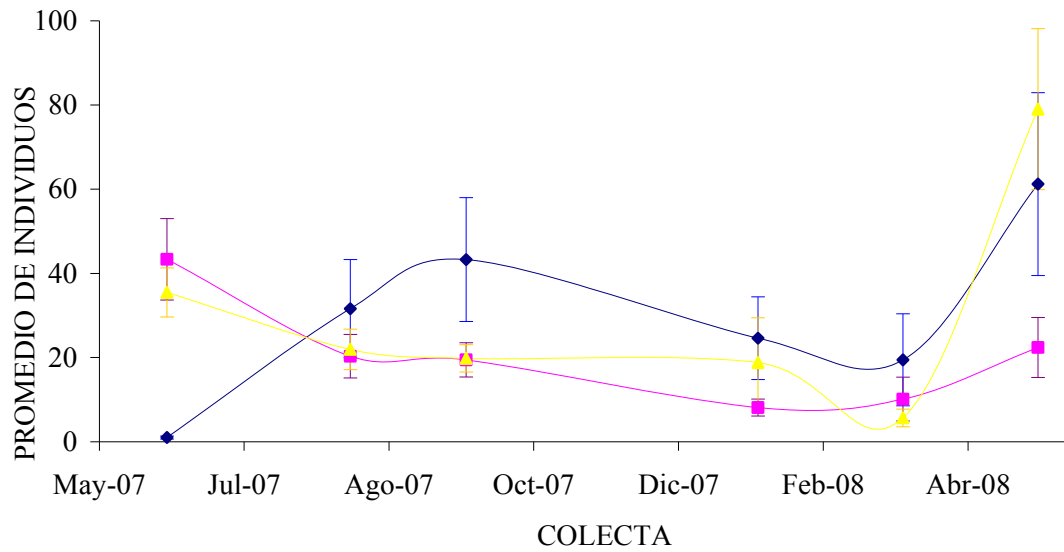


Figura 7.4 Promedio total de individuos y error estándar en las muestras por colecta en los diferentes tipos de bosque a lo largo del tiempo. ◆ *P. hartwegii*, ■ *A. religiosa* ▲ Mixto de *Quercus*

De los taxones registrados, el más numeroso fue Acari con 34,138 organismos durante todo el año (Figura 7.6). Cuando se eliminan los registros de Acari, las curvas de los distintos tipos de vegetación de la gráfica de abundancia presentan más diferencias entre sí. En la última colecta (mayo 2008), el tipo de vegetación con mayor abundancia sin Acari es *Quercus* (Figura 7.5). En la abundancia de los organismos (sin Acari), las colectas de marzo y mayo 2008 fueron significativamente diferentes a las otras colectas ($F_{5,264} = 8.868$; $p < 0.001$).



Estadísticos	May-07	Ago-07	Oct-07	Ene-08	Mar-08	May-08
P. HARTWEGII	C	AB	AB	ABC	BC	A
A. RELIGIOSA	A	AB	AB	B	B	AB
MIXTO DE QUERCUS	AB	BC	BC	BC	C	A

Figura 7.5 Promedio de individuos totales y error estandar en los diferentes tipos de bosque a lo largo del tiempo. Sin incluir Acari. ◆ *P. hartwegii* ■ *A. religiosa* ▲ Mixto de *Quercus*

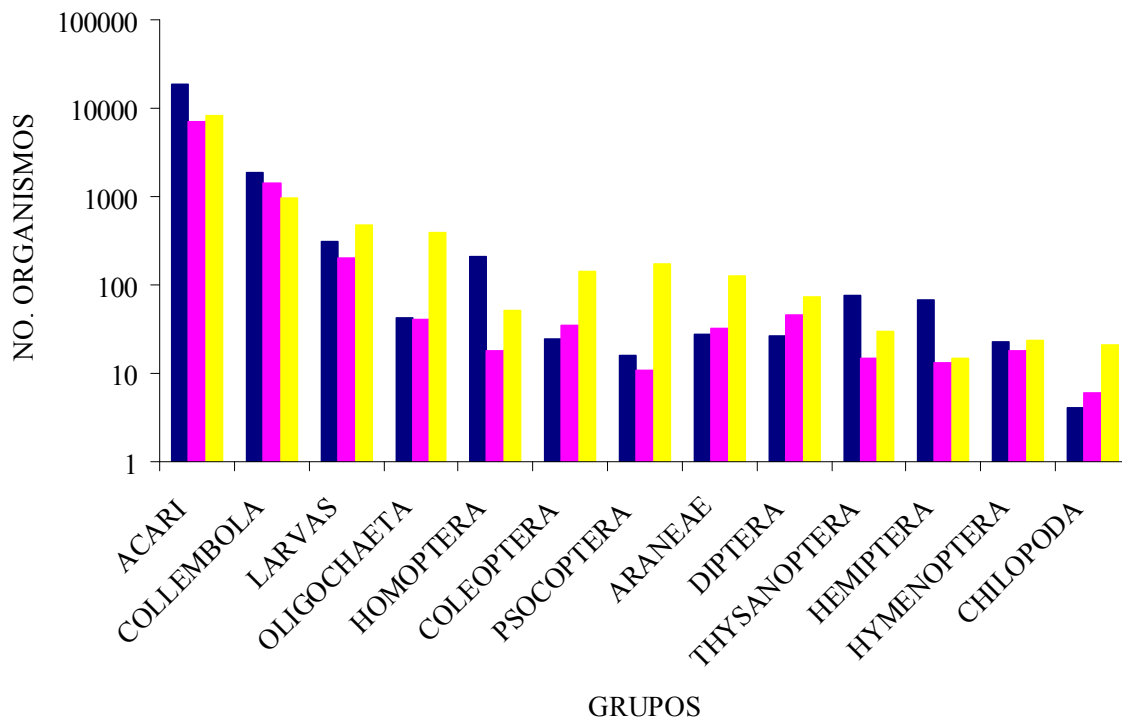
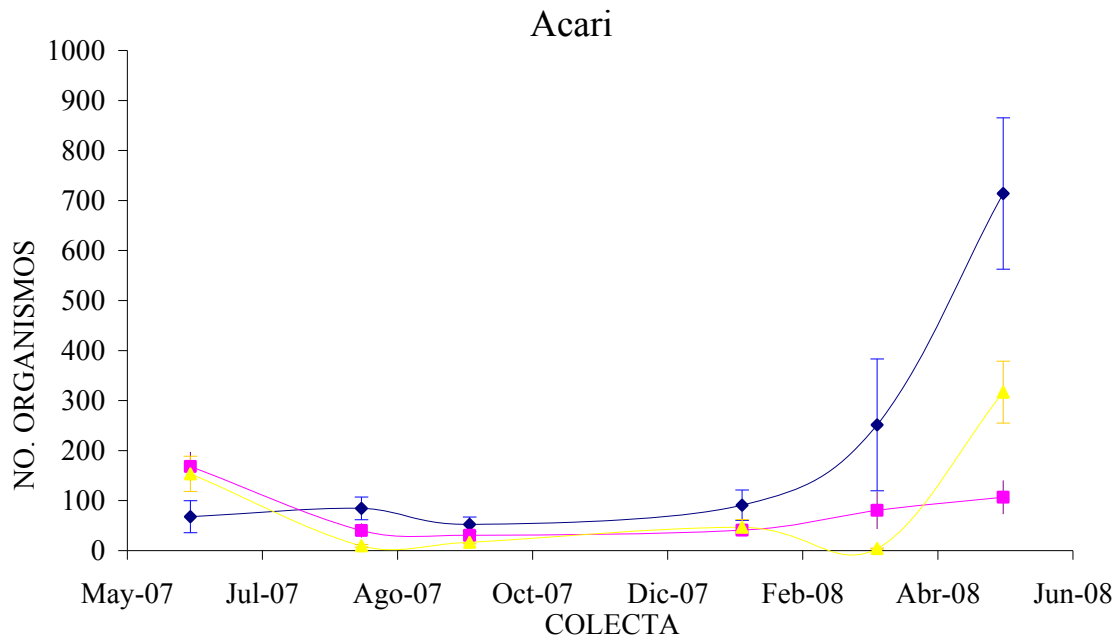


Figura 7.6 Número de organismos de cada orden en cada tipo de bosque. Se muestran los organismos con más de un individuo encontrado en cada uno de los tres tipos de bosque:

■ *P. hartwegii*, ■ *A. religiosa*, ■ Mixto de *Quercus*

Otros taxones importantes fueron Collembola con 4,235 organismos, las larvas con 982, Oligochaeta y Hemiptera con 479 y 372 organismos respectivamente. *P. hartwegii* presentó el promedio más alto en tres de los grupos más importantes: Acari, Collembola y Hemiptera; mientras que las larvas y Oligochaeta tuvieron una mayor abundancia en *Quercus*. De todos los taxones encontrados 13 aparecen en dos colectas o más en los tres tipos de vegetación (Figura 7.6), y los órdenes que tienen un solo registro son Embioptera, Hirudinea y Lepidoptera en *Quercus*, y Protura en *A. religiosa* (Cuadro 7.1). Orthoptera sólo se registró en el bosque de *Quercus* en dos temporadas y sólo con un individuo en cada una.

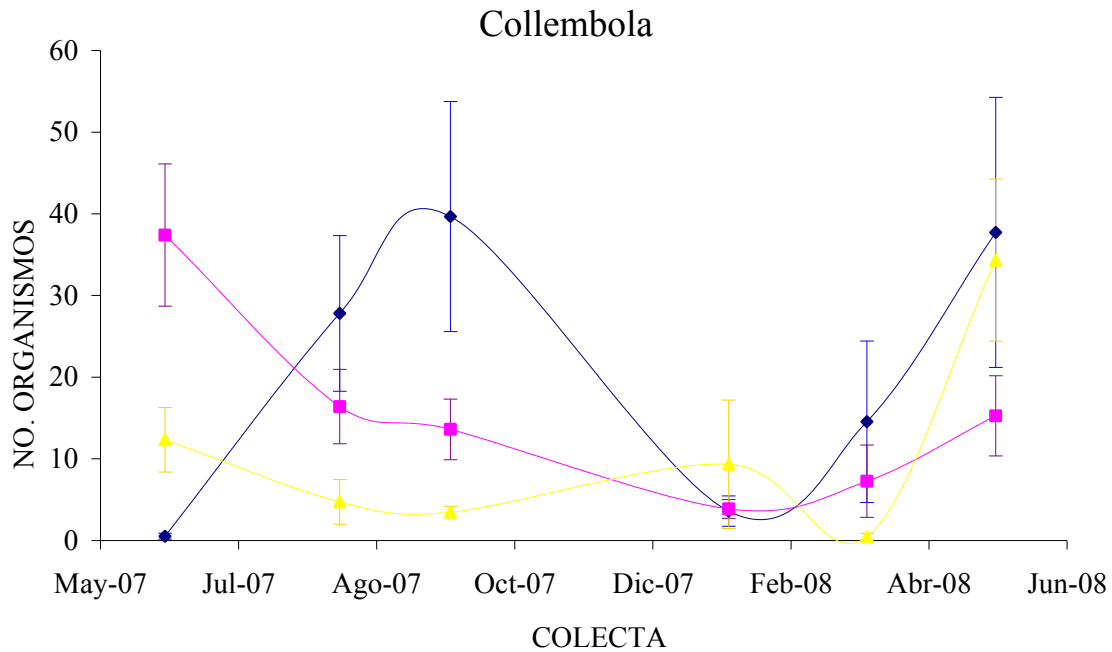


Estadísticos	May-07	Ago-07	Oct-07	Ene-08	Mar-08	May-08
P. HARTWEGII	B	B	B	B	B	A
A. RELIGIOSA	A	B	B	B	B	AB
MIXTO DE QUERCUS	B	C	C	C	C	A

Figura 7.7 Promedio de individuos pertenecientes al taxón Acari (y error estandar) en los tres bosque a lo largo de las colectas ◆ *P. hartwegii* ■ *A. religiosa* ▲ Mixto de *Quercus*

La abundancia promedio de organismos (Figura 7.4) y la abundancia de Acari (Figura 7.7) tienen el mismo comportamiento. Se conserva más o menos constante durante casi todo el año y al final el número de individuos en las colectas aumenta. Por otra parte, el comportamiento de la abundancia de los organismos sin Acari (Figura 7.5) es similar a la gráfica de la temporalidad de Collembola (Figura 7.8). En ellas la abundancia de organismo sí presenta cambios a lo largo del tiempo, con una pendiente positiva al final en los tres tipos de bosque.

A. religiosa es el bosque con menor cantidad de ácaros, seguido por *Quercus*, que tiene el doble de individuos, y *P. hartwegii* es el que tiene mayor abundancia con más del doble que *Quercus*.



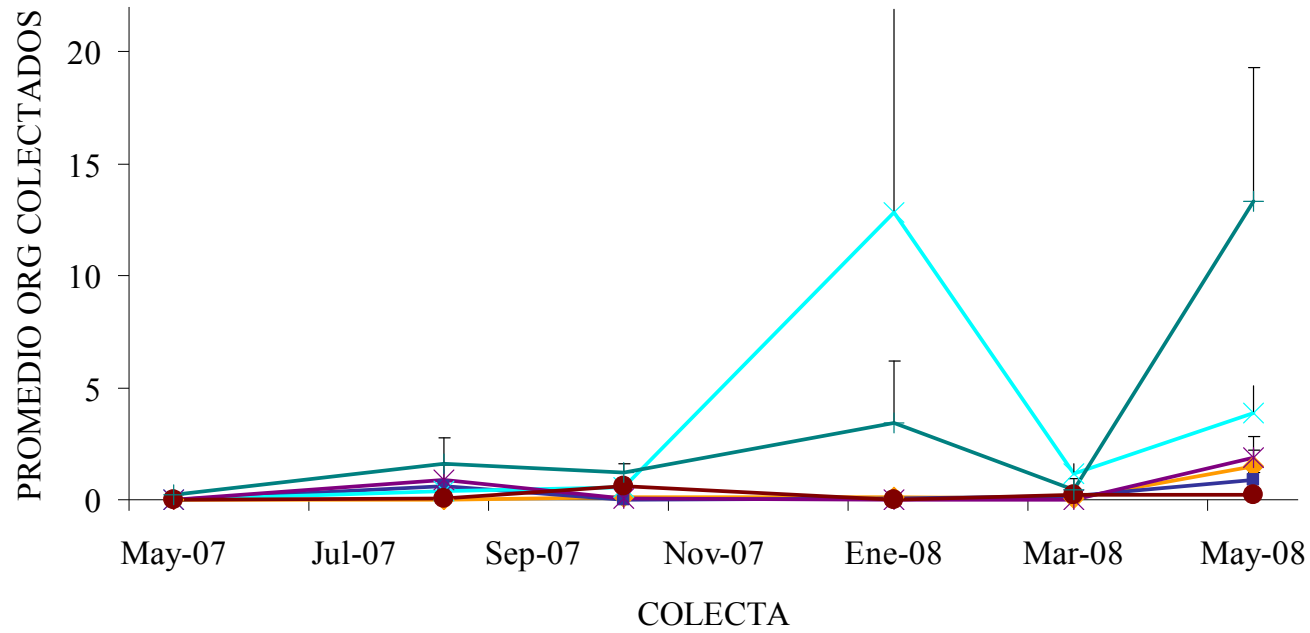
Estadísticos	May-07	Ago-07	Oct-07	Ene-08	Mar-08	May-08
P. HARTWEGII	C	AB	A	BC	ABC	A
A. RELIGIOSA	A	AB	AB	B	B	AB
MIXTO DE QUERCUS	B	BC	BC	BC	C	A

Figura 7.8 Promedio de individuos \pm error estándar pertenecientes al taxón Collembola en los tres bosques a lo largo de las colectas \blacklozenge *P. hartwegii* \blacksquare *A. religiosa* \blacktriangle Mixto de *Quercus*.

Sin embargo la abundancia de individuos pertenecientes a Collembola en el bosque de *A. religiosa* disminuye a lo largo del año, aún con el incremento del final sigue por debajo del 50% de la abundancia al inicio de las colectas un año antes (Figura 7.8). En el bosque de *Quercus*, la abundancia de Collembola es menor que en los otros dos, pero en la última colecta es casi tan elevada como en el bosque de *P. hartwegii*, a pesar de que en la colecta anterior su abundancia fue cercana a cero. Aunque la abundancia de colémbolos es diferente en cada bosque, ésta no es significativa. Sólo las colectas de marzo y mayo 2008 presentan cambios significativos con los otros tiempos ($F_{5,264} = 8.9$; $p < 0.0001$).

Los grupos con mayor abundancia después de Acari y Collembola son las larvas de insectos holometábolos, Oligochaeta, Hemiptera, Psocoptera y Coleoptera.

Pinus



Estadísticos	May-07	Ago-07	Oct-07	Ene-08	Mar-08	May-08
ARANEAE	B	B	B	B	B	A
COLEOPTERA	B	AB	B	B	B	A
HEMIPTERA	C	BC	BC	A	ABC	AB
OLIGOCHAETA	B	AB	B	B	B	A
PSOCOPTERA	C	BC	A	C	BC	BC
LARVAS	B	B	B	B	B	A

Figura 7.9 Promedio de individuos de los taxones más abundantes y error estándar en el bosque de *P. hartwegii* durante las seis temporadas de colecta. ◆-Araneae, ■-Coleoptera, ✕-Hemiptera, *-Oligochaeta, ●-Psocoptera, +Larvas

En el bosque de *P. hartwegii*, la abundancia de los individuos se mantuvo estable, excepto en las colectas de enero 2008 y de mayo 2008, en donde los hemípteros y las larvas tuvieron un aumento en los individuos registrados (Figura 7.9). Hemiptera fue la más elevada en enero con un promedio de más de 14 individuos en cada muestra, mientras que las larvas fueron más elevadas en la última colecta con 15 individuos en promedio por muestra, el incremento de estos taxones se registra durante la temporada de sequía y frío, y al inicio de lluvias. Los otros taxones no presentaron una abundancia sobresaliente, salvo durante la última colecta (mayo 2008), en donde la mayoría alcanzó más de un individuo por muestra.

En el bosque de *A. religiosa*, las larvas presentaron mayor abundancia, pero no rebasaron los cinco individuos por muestra (Figura 7.10). La abundancia de los otros taxones fue mucho menor comparada con la de los otros dos bosques y se mantuvo estable durante todas las colectas. *A. religiosa* es el bosque que registra la menor diversidad taxonómica pues tiene la abundancia más baja y los taxones registrados son menos que en los otros bosques.

En el bosque de *Quercus*, los taxones con mayor abundancia presentaron diferencias numéricas y temporales más marcadas que en los otros dos bosques (Figura 7.11) y es el sitio donde las lombrices de tierra fueron más abundantes (Oligochaeta), sobre todo en temporada de lluvias (mayo-octubre, 2007). La abundancia de larvas de holometábolos en la última colecta también fue elevada. Las colectas que reportaron un menor número de individuos fueron enero y marzo de 2008; posteriormente se vuelve a incrementar el número de individuos registrados en los bosques. Ha de notarse que el número de ácaros encontrados en *Quercus* fue menor que el registrado en los otros dos bosques en la mayoría de las colectas, su diversidad taxonómica se debe a la numerosa presencia de los otros grupos.

Abies

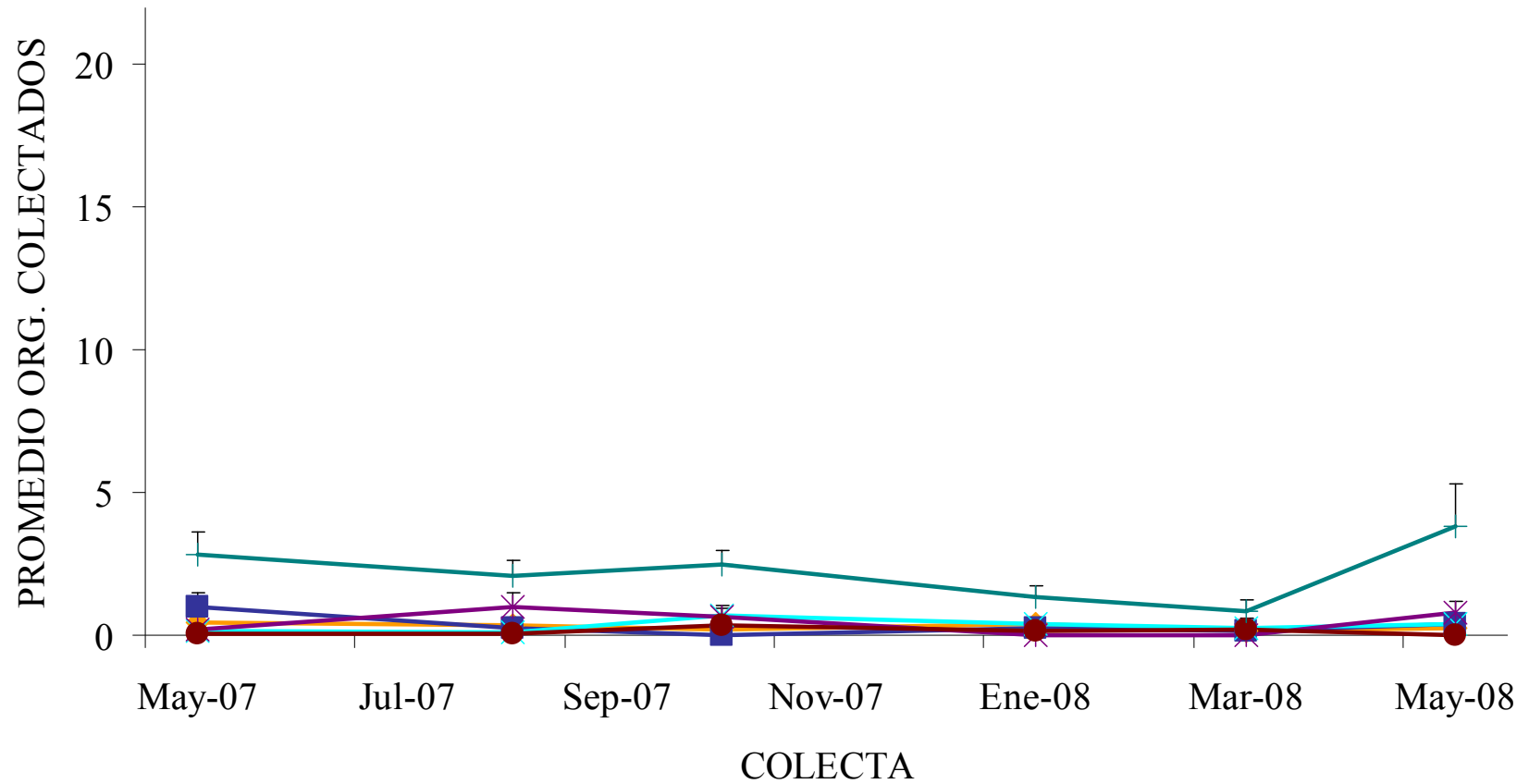
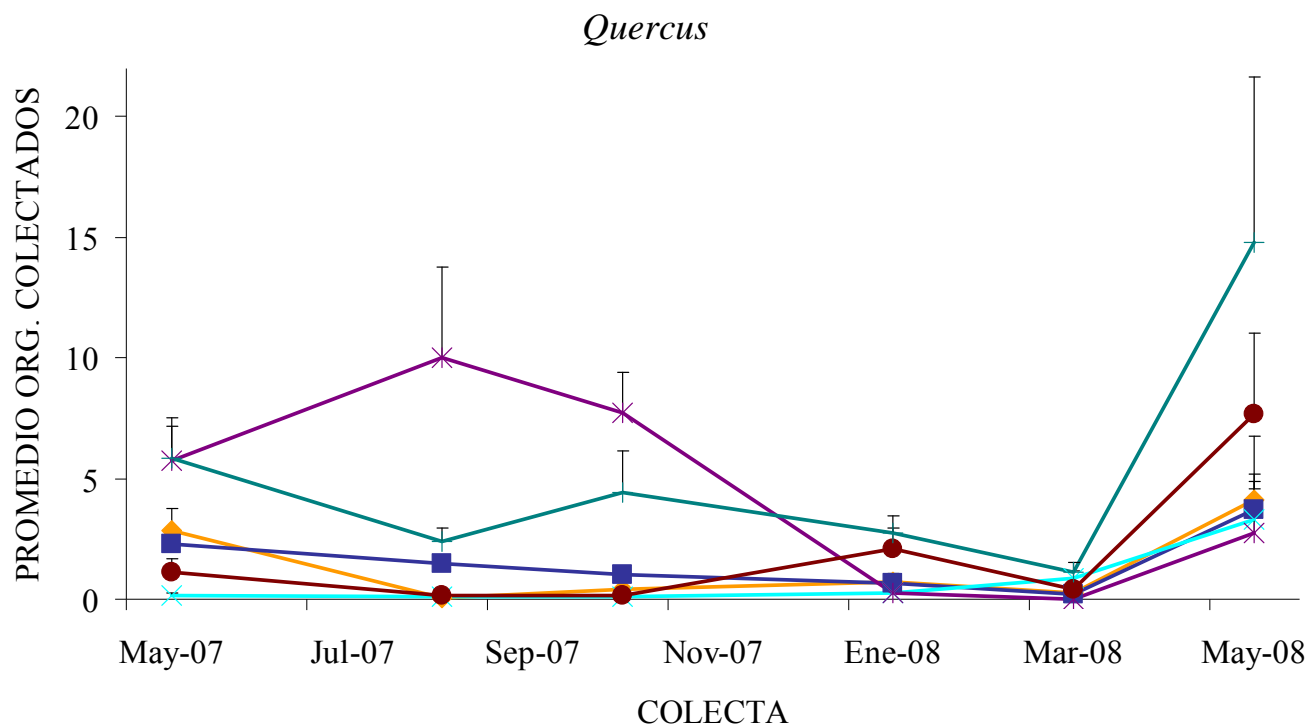


Figura 7.10 Promedio de individuos de los taxones más abundantes y error estándar en el bosque de *A. religiosa* durante las seis temporadas de colecta ◆ Araneae, ■ Coleoptera, ◆ Hemiptera, ◆ Oligochaeta, ● Psocoptera, ◆ Larvas.



Estadísticos	May-07	Ago-07	Oct-07	Ene-08	Mar-08	May-08
ARANEAE	A	C	BC	ABC	C	AB
COLEOPTERA	AB	ABC	BC	BC	C	A
HEMIPTERA	B	B	B	B	AB	A
OLIGOCHAETA	A	A	A	B	B	AB
PSOCOPTERA	B	B	B	AB	B	A
LARVAS	AB	B	B	B	B	A

Figura 7.11 Promedio de individuos de los taxones más abundantes y error estándar en el bosque mixto de *Quercus* durante las seis temporadas de colecta —♦— Araneae, —■— Coleoptera, —×— Hemiptera, —*— Oligochaeta, —●— Psocoptera, —+— Larvas.

7.2 Mantillo

Del mantillo recolectado, el tipo de vegetación con un promedio mayor fue *Quercus*, siendo hasta tres veces la cantidad encontrada en *A. religiosa* y *P. hartwegii*. *Quercus* presentó la mayor cantidad de mantillo durante la colecta de agosto 2007 y la diferencia con los otros dos bosques fue significativa ($F_{2,267} = 62.2$; $p=0.0001$), *A. religiosa* tuvo un incremento entre los meses de agosto 2007 y marzo 2008 regresando a la misma cantidad en la última colecta, y sus cambios no fueron significativos, mientras que *P. hartwegii* presenta un aumento constante a lo largo del año que no es significativo (Figura 7.12).

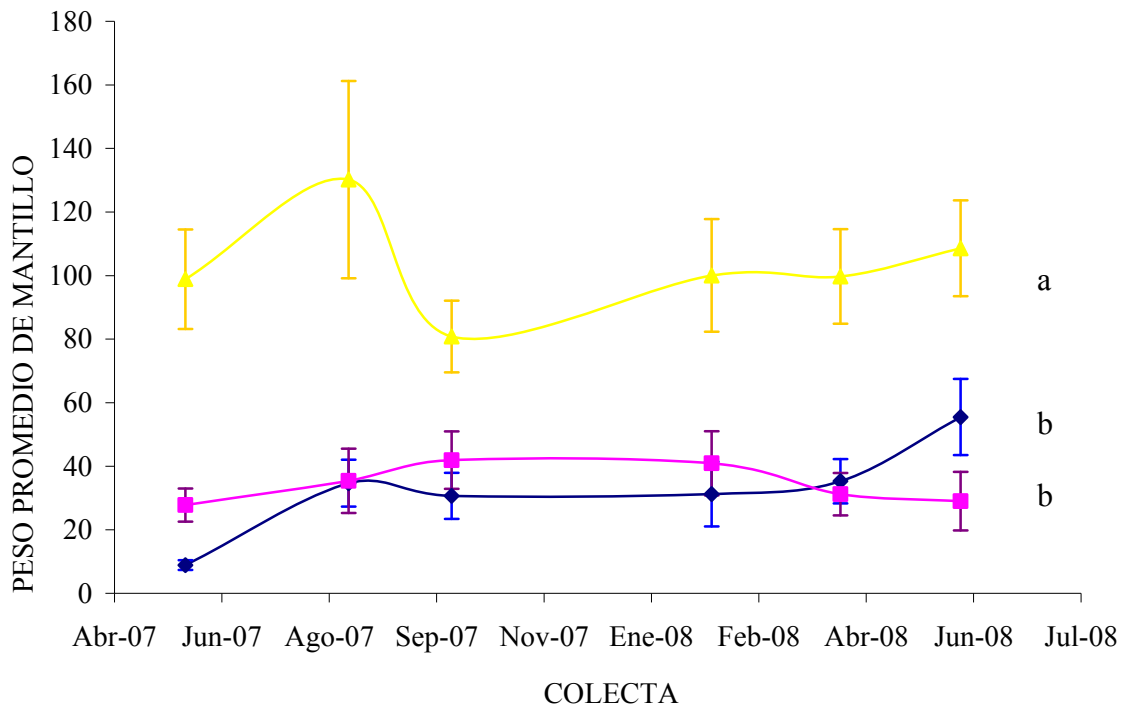


Figura 7.12 Peso promedio del mantillo seco y error estándar en las seis colectas. ◆ *P. hartwegii* ■ *A. religiosa* ▲ Mixto de *Quercus*

La relación que presenta *P. hartwegii* entre la cantidad de individuos y el mantillo (Figura 7.13) es una curva exponencial positiva ($y=a+bx^3$), esta relación es significativa ($F = 86.00$; $p < 0.001$). En *A. religiosa* también presenta un comportamiento exponencial pero con pendiente negativa ($y/1 = a+bx$), la relación entre el número de organismos con el mantillo (Figura 7.14) también es significativa ($F = 92.07$; $p < 0.001$). En *Quercus* (Figura 7.15) la

curva obtenida presenta una forma de campana, con un pico a los 105 gramos de mantillo, en el cual habría poco más de 400 individuos, y presenta después un decremento en el número de organismos que se esperaba encontrar, este ajuste no es significativo.

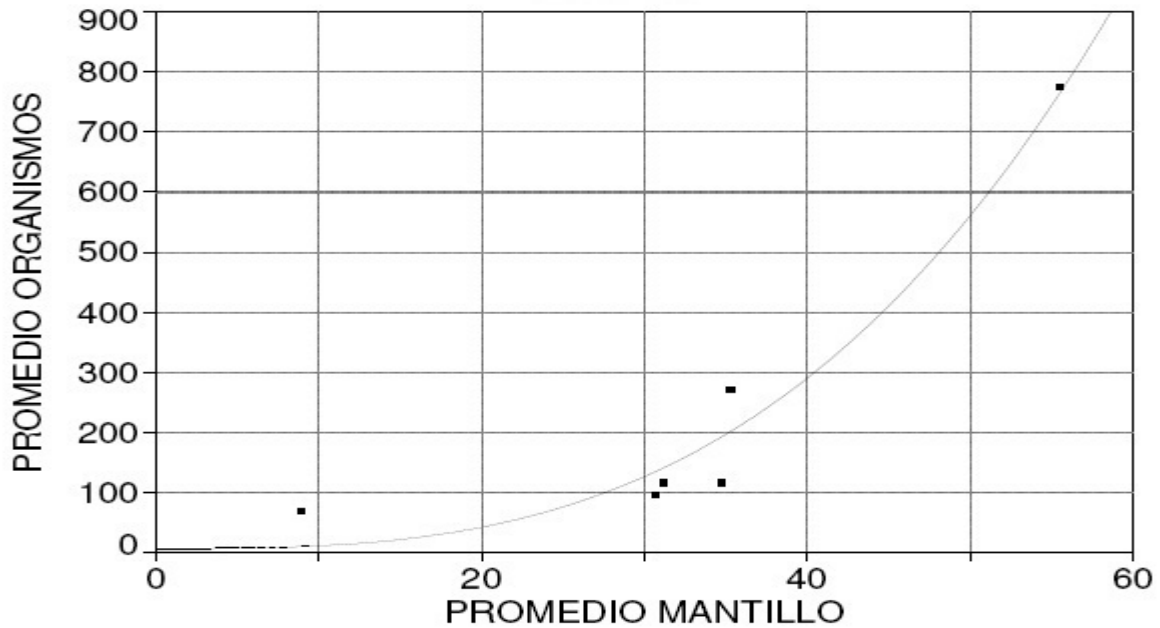


Figura 7.13 Tendencia del número de organismos según la cantidad de mantillo en el bosque de *P. hartwegii* ($r^2 = 0.95$).

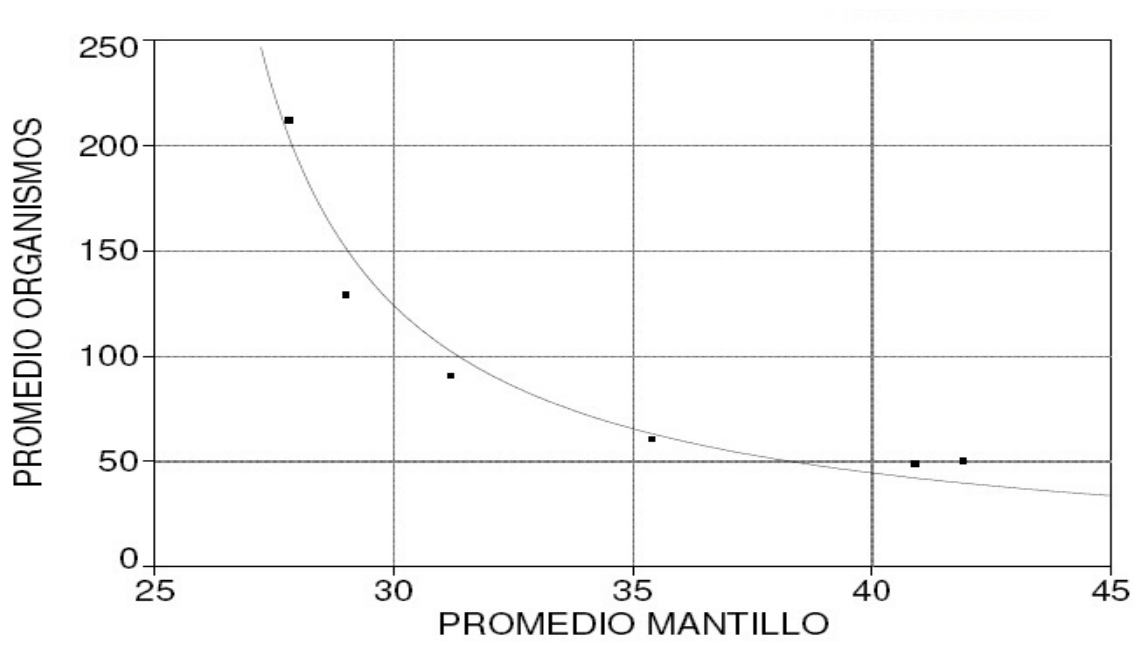


Figura 7.14 Tendencia del número de organismos según la cantidad de mantillo en el bosque de *A. religiosa* ($r^2 = 0.96$).

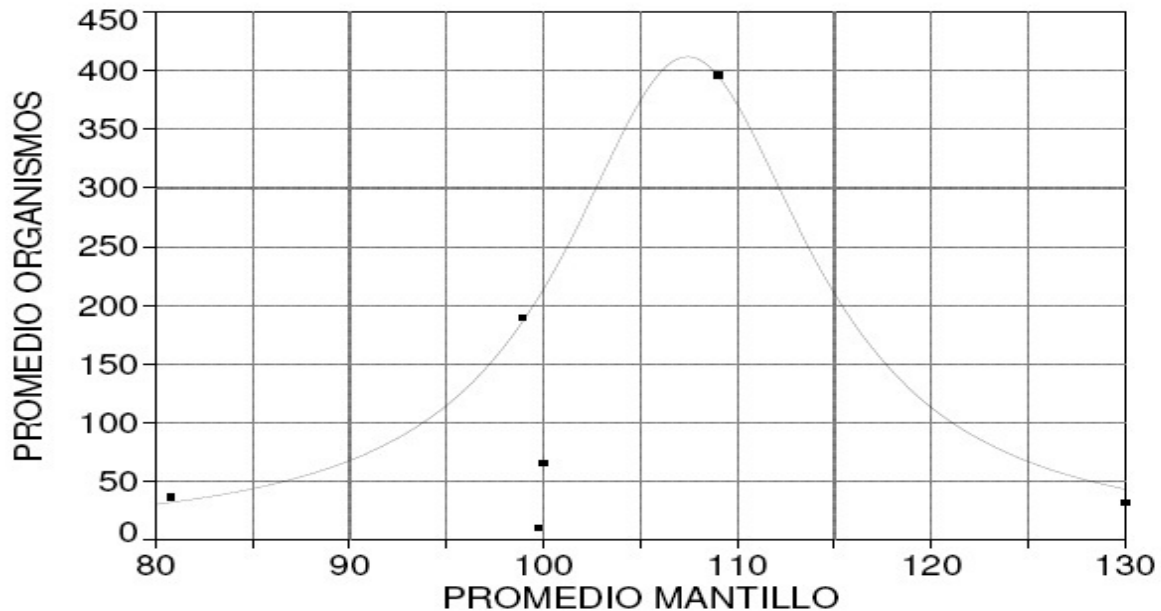


Figura 7.15 Tendencia del número de organismos según la cantidad de mantillo en el bosque mixto de *Quercus* ($r^2 = 0.46$).

7.3 Calidad del mantillo

Los análisis de laboratorio reportaron que el mantillo con menor cantidad de Carbono total fue el de *Quercus*, con un promedio final de 44.25%. Los resultados de C en *A. religiosa* y *P. hartwegii* fueron más elevados, con porcentajes de 48.24% y 51.06% respectivamente (Figura 7.16). Sus diferencias fueron significativas ($F_{2,72} = 112.1$; $p = 0.001$), también hubo diferencias significativas en los cambios del C a través del tiempo ($F_{5,72} = 10$; $p = 0.001$). En los bosques de *P. hartwegii* y *Quercus* aumenta la cantidad de C acumulada en el mantillo, mientras que en *A. religiosa* disminuye en agosto 2008 y vuelve a aumentar en las colectas siguientes. Los valores del N son contrarios a los de C. Es en *Quercus* donde se presenta el porcentaje más elevado (0.97%), seguido por *A. religiosa* (0.94%) y *P. hartwegii* al final (0.86%). Las diferencias también son significativas entre los tres tipos de bosque ($F_{2,72} = 4.84$; $p = 0.04$) y en las seis colectas ($F_{5,72} = 5.3$; $p < 0.001$). En *P. hartwegii* aumenta el N acumulado en la época de lluvias (de 0.77% a 1.01%), y disminuye en el siguiente periodo (hasta 0.74%); *A. religiosa* también tiene un aumento en el periodo

de lluvias (Agosto 2007 con 1.12%) pero disminuye después (0.82% en enero 2008); en *Quercus* la variación es menor que en los otros bosques, y el nivel de N más elevado se presenta desde el inicio de lluvias (desde mayo 2007 con 1.04% hasta octubre 2007 con 1.18%) y luego disminuye en época de frío (0.89% en enero 2008). El mantillo con menor cantidad de fósforo (P) fue *P. hartwegii* (0.05 ppm), *A. religiosa* y *Quercus* tuvieron el mismo promedio final (0.08 ppm). Existe una diferencia significativa del P hallado en *P. hartwegii* con los otros dos mantillos ($F_{5,72} = 172.7$; $p = 0.001$). En los bosques de *P. hartwegii* y *A. religiosa* la cantidad de P aumenta con el tiempo, pero *Quercus* registra la mayor cantidad en el periodo de lluvias (0.1% en agosto 2007) y luego disminuye ligeramente (Cuadro 7.4).

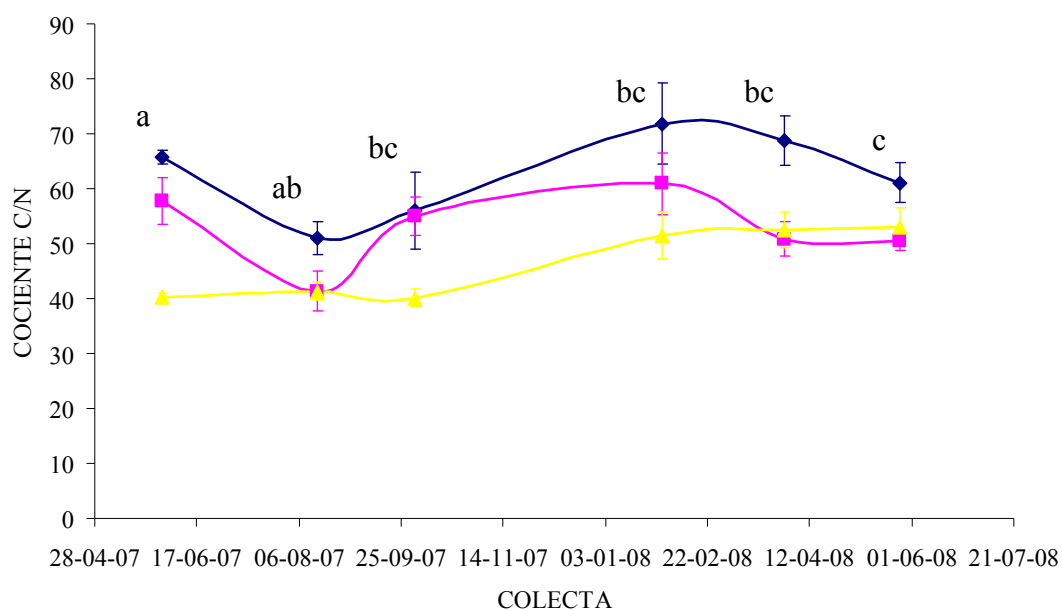


Figura 7.16 Promedio de cociente C/N del mantillo y error estándar de los tres tipos de bosque en cada una de las colectas. ◆ *P. hartwegii* ■ *A. religiosa* ▲ Mixto de *Quercus*

En cuanto a la calidad de mantillo, el tipo de bosque con coeficiente C/N más bajo fue *Quercus*, su valor se encuentra entre los 40 y los 55. El mantillo de menor calidad se encuentra en *P. hartwegii*, con un valor entre los 50 y los 70, aunque en los meses de agosto 07 y mayo 08 alcanzó los valores más bajos (menores a 60). La calidad del mantillo

de *A. religiosa* es intermedia a los otros dos tipos de bosque (tiene valores entre los 40 y los 60), pero en las últimas dos colectas (marzo y mayo 2008) su calidad es mayor a la de *Quercus*. Los tres tipos de vegetación muestran diferencias significativas ($F_{2,72} = 25$; $p < 0.001$), también existen cambios significativos a través del tiempo en todos los bosques ($F_{5,72} = 6.5$; $p < 0.001$). En la figura 7.16 se ve que el índice C/N es menor en agosto y octubre, lo que indica que la calidad del mantillo aumenta en el periodo de lluvias. Durante la época de frío y sequía se observa un aumento en el índice (enero 2008) que indica que la calidad del mantillo es la más baja en este periodo. En el bosque de *Quercus*, el índice aumenta con el tiempo, indicando que la calidad del mantillo va disminuyendo.

Se buscaron tendencias en los tres tipos de bosques para encontrar relaciones entre la cantidad de organismos que los habitan y los nutrientes del mantillo del lugar. No se encontró ninguna relación significativa entre estas variables, salvo para el porcentaje de Carbono del peso seco del mantillo en el bosque de *P. hartwegii* (Figura 7.17; $F_{1763,01} = 22,671$) y en el de *A. religiosa* (Figura 7.18; $F_{740,72} = 4.194$). En ambos bosques la ecuación es de una curva exponencial positiva ($y = a + be^x$), pero en la segunda, la cantidad de organismos aumenta más al incrementarse la cantidad de C en el mantillo.

Cuadro 7.4 Concentración de nutrientes en el mantillo de los tres bosques. P: Mantillo de *P. hartwegii*; A: Mantillo de *A. religiosa*; Q: Mantillo de mixto de *Quercus*; C/N: Relación Carbono-Nitrógeno.

		31-05-07	15-08-07	02-10-07	31-01-08	31-03-08	26-05-08	PROM
CARBONO (% peso seco)	P	50.58	51.01	51	51.1	50.72	51.94	51.06
		0.32	0.35	1.29	0.7	0.29	0.31	0.26
	A	50.05	45.27	49.51	48.46	47.13	49	48.24
		0.50	1.76	0.28	0.51	0.68	0.57	0.44
	Q	41.63	39.83	46.95	44.73	45.14	47.19	44.25
		0.54	1.49	0.40	1.05	0.32	0.62	0.59
NITRÓGENO (% peso seco)	P	0.77	1.01	1.00	0.74	0.75	0.86	0.86
		0.01	0.06	0.19	0.08	0.04	0.05	0.04
	A	0.88	1.12	0.91	0.82	0.94	0.98	0.94
		0.06	0.06	0.06	0.07	0.05	0.03	0.03
	Q	1.04	0.97	1.18	0.89	0.87	0.9	0.97
		0.02	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03
FÓSFORO (ppm)	P	0.01	0.05	0.06	0.04	0.06	0.06	0.05
		0.001	0.001	0.004	0.003	0.003	0.001	0.00
	A	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08
		0.002	0.001	0.002	0.008	0.002	0.003	0.00
	Q	0.07	0.10	0.06	0.08	0.09	0.08	0.08
		0.001	0.002	0.001	0.005	0.003	0.004	0.00
C/N	P	65.73	51.04	56.03	71.8	68.77	61.06	62.41
		1.22	3.05	6.95	7.33	4.53	3.57	2.27
	A	57.7	41.28	55.11	60.9	50.87	50.38	52.71
		4.24	3.6	3.51	5.55	3.11	1.67	1.83
	Q	40.16	41.27	40.12	51.5	52.52	52.99	46.43
		0.93	1.62	1.67	4.22	3.32	3.59	1.52
NÚMERO	P	1033	1740	1434	1734	4063	11629	21633
TOTAL DE	A	3172	910	752	735	1359	1937	8865
ORGANISMOS	Q	2835	473	548	983	148	5937	10924

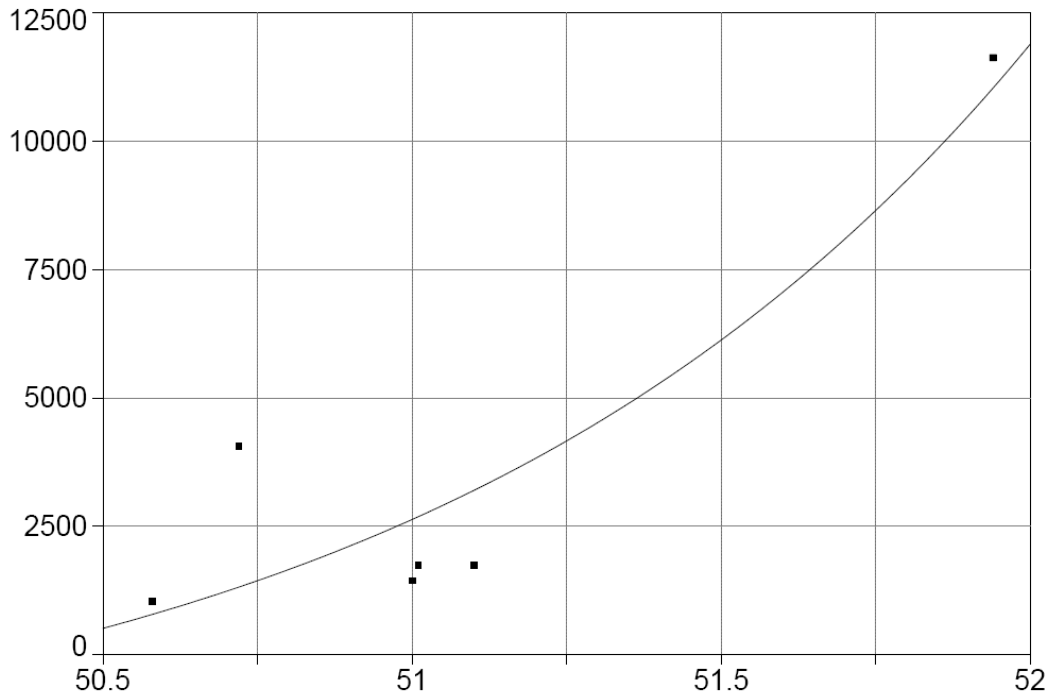


Figura 7.17 Tendencia del número de organismos según el porcentaje de carbono del peso seco de la hojarasca en *P. hartwegii* ($r^2 = 0.85$).

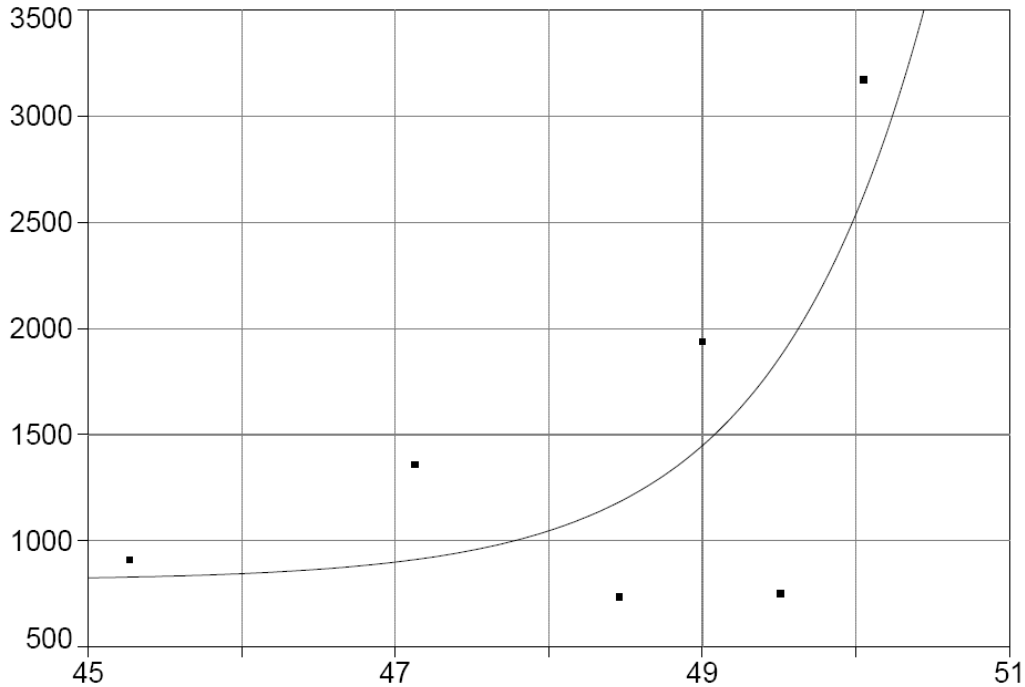
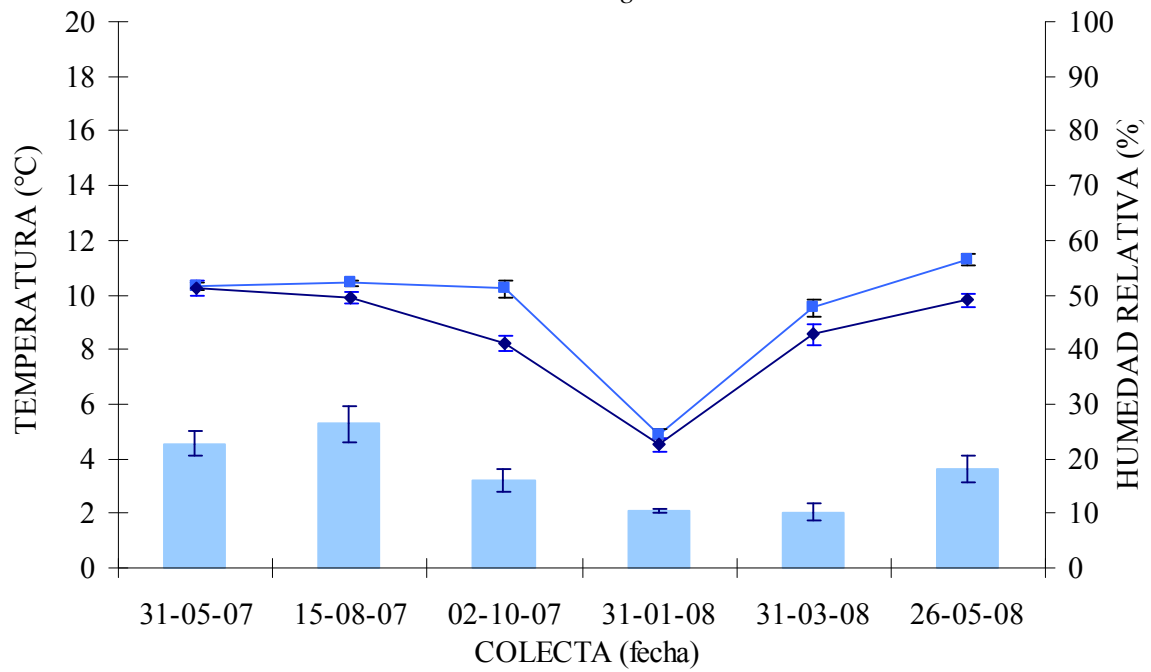


Figura 7.18 Tendencia del número de organismos según el porcentaje de carbono del peso seco de la hojarasca en *A. religiosa* ($r^2 = 0.51$).

7.4 Condiciones climáticas

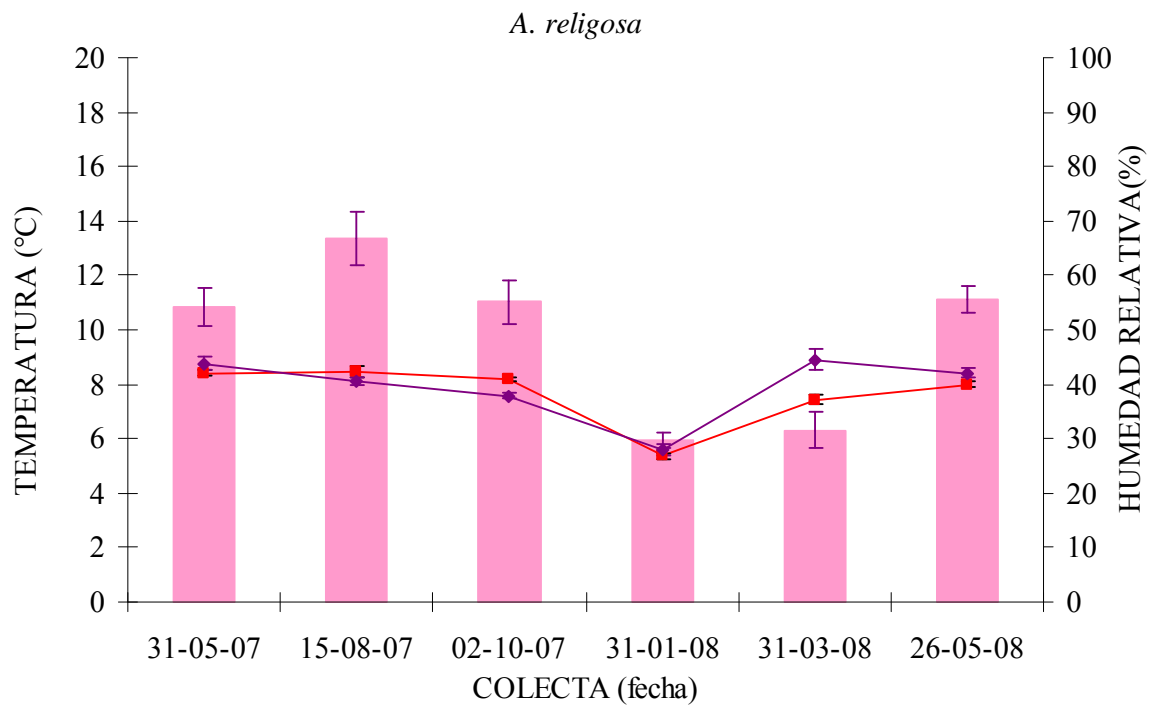
Los datos tomados de temperatura y humedad (Cuadro 7.5) indican que el bosque de *Quercus* presenta una temperatura en suelo ($F_{2,504} = 428.48$; $p < 0.001$) y aire ($F_{2,504} = 451.07$; $p < 0.001$) significativamente más elevada que los otros dos bosques, también es el sitio con mayor humedad (76.09% HR). El promedio de los datos obtenidos en este bosque es de 12.18°C para el suelo y 11.94°C para el aire, la diferencia entre ambas temperatura es la más pequeña comparada con las de los otros dos bosques. *A. religiosa* presenta la temperatura más baja de los tres tipos de vegetación (en promedio, 7.89° en aire y 7.62° en suelo). *P. hartwegii* es el bosque con cambios más drásticos en el clima durante el año, con una diferencia promedio de 0.9°C, además de que tiene una humedad (17.31% HR) mucho menor que los otros dos bosques ($F_{2,504} = 681.83$; $p < 0.001$). En los tres bosques, los periodos con menor humedad coinciden con los de menor temperatura.

P. hartwegii



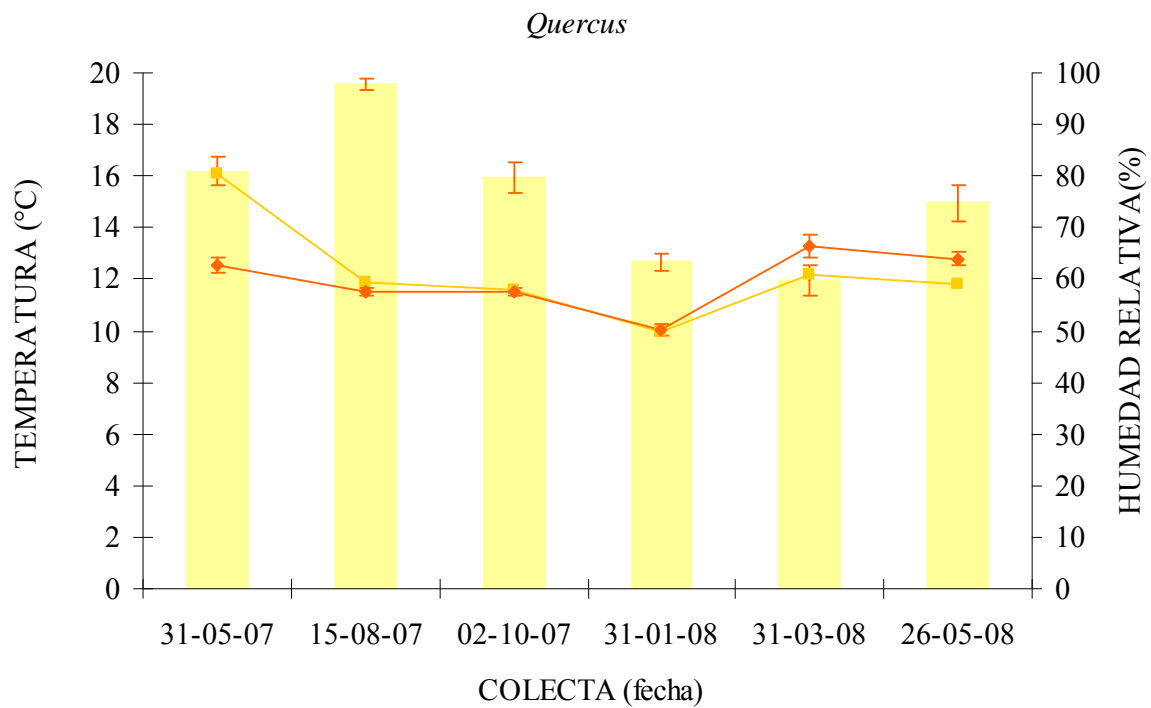
Estadísticos	May-07	Ago-07	Oct-07	Ene-08	Mar-08	May-08
T. AIRE	A	A	B	C	B	A
T. SUELO	BC	C	BC	D	B	A
HUMEDAD	AB	A	BC	C	C	ABC

Figura 7.19 Promedio de las temperaturas del aire \blacksquare y del suelo \blacklozenge , y de la humedad (M) \blacksquare y error estandar en el bosque de *P. hartwegii* durante el periodo de mayo 2007 a mayo 2008.



Estadísticos	May-07	Ago-07	Oct-07	Ene-08	Mar-08	May-08
T. AIRE	A	A	A	C	B	A
T. SUELO	A	AB	B	C	A	AB
HUMEDAD	A	A	A	B	B	A

Figura 7.20 Promedio de las temperaturas del aire ■ y del suelo ◆, de la humedad (M) ■ y error estandar en el bosque de *A. religiosa* durante el periodo de mayo 2007 a mayo 2008.



Estadísticos	May-07	Ago-07	Oct-07	Ene-08	Mar-08	May-08
T. AIRE	AB	AC	C	D	B	B
T. SUELO	B	A	AC	C	A	A
HUMEDAD	B	A	B	C	C	A

Figura 7.21 Promedio de las temperaturas del aire ■ y del suelo ◆, y de la humedad y error estandar en el bosque mixto de *Quercus* durante el periodo de mayo 2007 a mayo 2008.

Cuadro 7.5 Promedio de las temperaturas del aire y del suelo y de la humedad aérea de los tres tipos de bosque. P: Bosque de *P. hartwegii*; A: Bosque de *A. religiosa*; Q: Bosque mixto de *Quercus*.

		31-05-07	15-08-07	02-10-07	31-01-08	31-03-08	26-05-08	PROM
TEMPERATURA DEL AIRE (°C)	P	10.25	9.89	8.23	4.51	8.54	9.81	8.54
		0.27	0.21	0.27	0.24	0.36	0.24	0.45
	A	8.77	8.10	7.57	5.58	8.91	8.42	7.89
		0.26	0.14	0.12	0.20	0.40	0.17	0.31
	Q	12.53	11.52	11.50	10.05	13.28	12.80	11.94
		0.28	0.12	0.13	0.21	0.46	0.23	0.32
TEMPERATURA DEL SUELO (°C)	P	10.30	10.43	10.21	4.90	9.52	11.30	9.44
		0.16	0.12	0.28	0.16	0.31	0.23	0.43
	A	8.40	8.45	8.18	5.35	7.43	7.99	7.62
		0.10	0.19	0.08	0.08	0.16	0.12	0.23
	Q	16.08	11.90	11.57	9.99	12.17	11.83	12.18
		1.45	0.07	0.08	0.10	0.18	0.10	0.51
HUMEDAD RELATIVA (%)	P	22.75	26.38	16.09	10.38	10.18	18.13	17.31
		2.29	3.40	1.99	0.35	1.54	2.60	2.41
	A	54.33	66.74	55.15	29.73	31.61	55.58	48.86
		3.52	4.86	4.04	1.29	3.38	2.59	4.20
	Q	80.96	97.91	79.69	63.35	59.85	74.77	76.09
		2.73	1.11	2.99	1.64	2.98	3.39	3.43

En cuanto a las características ambientales de la zona, sólo la relación Temperatura del suelo – Número de organismos en el bosque de *P. hartwegii* fue significativa ($F_6 = 10.16$; $P < 0.05$). La curva que la representa es una función logarítmica ($\ln y = a + be^x$).

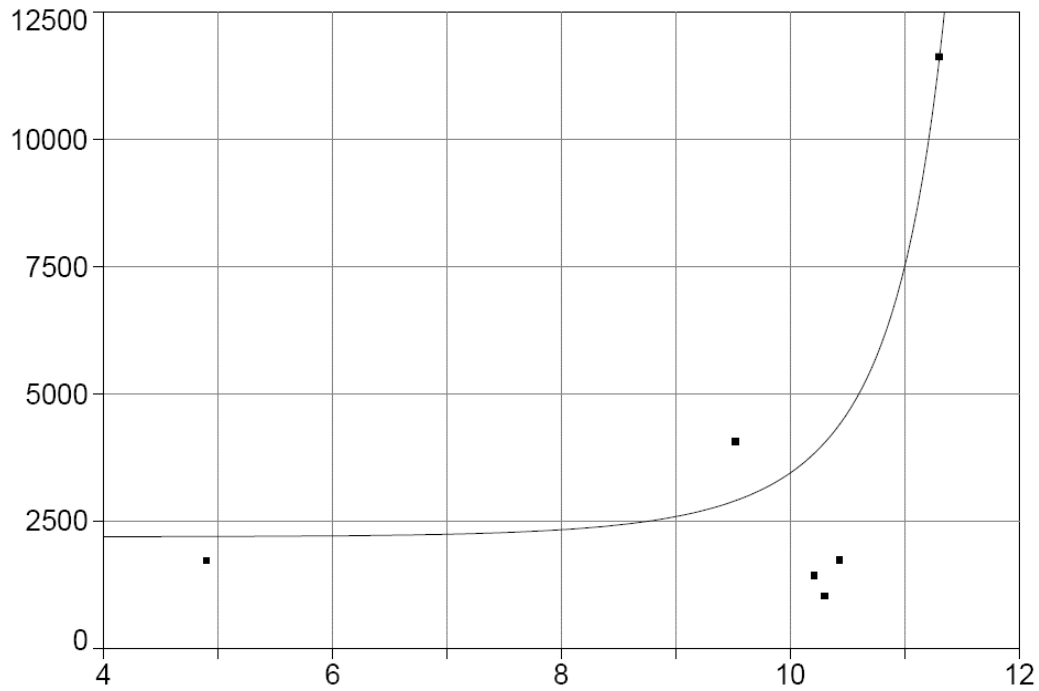


Figura 7.22 Tendencia del número de organismos según la temperatura del suelo en *P. hartwegii* ($r^2 = 0.72$).

8. DISCUSIÓN

La meso y macrofauna que se recolectó desarrolla sus actividades en el mantillo, las condiciones que en él se presentan afectan de manera directa a los organismos y sus características, pues éste es su hábitat.

El bosque mixto de *Quercus* presentó los valores más altos de mantillo durante todo el año de estudio; también la temperatura y la humedad (microclima) presentaron sus valores más altos en este bosque, la calidad del mantillo fue la mayor en comparación con los bosques de *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*, y estas características fueron estables. Estos resultados señalan a este bosque como un ambiente muy favorable para el establecimiento de la fauna en el suelo y fue aquí donde se presentó la mayor riqueza taxonómica. Al respecto Brown y colaboradores (2004) mencionan que las diferencias en las comunidades de la fauna del suelo dependen del sitio muestreado, la estación y el año en que se tomó la muestra. Estas diferencias son más notorias en la estación lluviosa y las condiciones edáficas crean con frecuencia patrones de distribución horizontal en forma de manchones de vegetación o de recursos más abundantes, que se reflejan en la distribución de la fauna. Heneghan y colaboradores (1999) también comentaron que la regulación de los microartrópodos en las zonas cálidas tiene mayores repercusiones en la descomposición debido principalmente a la baja variabilidad climática además de presentar un ensamblaje de animales más complejo. El registro del mayor número de grupos taxonómicos en este bosque se dio a pesar de que el suelo sobre el que se asienta pertenece al grupo de los Leptosoles, suelos extremadamente delgados (menos de 40 cm de profundidad) y con una estructura muy simple (poca agregación), por lo que esto refuerza la importancia del mantillo como hábitat para la fauna, como cubierta para reducir la erosión del suelo (Maass y García-Oliva, 1990) y como fuente de nutrientes y por tanto de energía para los organismos del suelo (Barajas-Guzmán y Alvarez-Sánchez, 2003). Aunque no se encontró una relación significativa entre la cantidad de mantillo y el número promedio de organismos en este bosque, cabe resaltar que a grandes cantidades de mantillo disminuye el número de individuos, y esto podría deberse a que se dificulte su tránsito, o a que la alta acumulación de MOM indique una disminución en la descomposición que ocasiona que el

mantillo sea de baja calidad haciéndolo poco apetecible para la fauna. No hay estudios de descomposición de mantillo no contenido en bolsas de malla que indiquen esto, pero en los que las manejan se ha visto que los organismos prefieren el mantillo de calidad alta al de calidad baja (Moreno, 2006). Sólo estudios posteriores podrían dar claridad a este par de ideas.

El bosque de *P. hartwegii* fue todo lo contrario del bosque de *Quercus*. Su microclima presentó las temperaturas y humedad más bajas, la calidad y cantidad del mantillo fueron las más bajas -aunque no fue significativamente diferente de la encontrada en el bosque de *A. religiosa*. Este bosque presentó la riqueza taxonómica más baja y el dominio de la Clase Acari. En este ambiente que es poco favorable disminuye la riqueza y aumenta la abundancia de los ácaros. Este grupo puede establecerse en la mayoría de los ecosistemas y es en los suelos de los bosques donde se presentan como los organismos más conspicuos (Heneghan *et al.*, 1999; González y Seastedt, 2001). El grupo Acari junto con otros artrópodos, como los colémbolos (diplópodos e isópodos, en temperaturas más cálidas), constituyen especies clave para la descomposición de tejidos vegetales y la distribución de la microbiota ya que son reguladores de la población microbiana al ser los principales consumidores de su biomasa y con su desplazamiento a través de las capas de mantillo y suelo permiten la colonización de los diferentes sustratos (Estrada-Venegas, 2008; Huhta, 2007). Además, presentan características que les permiten desarrollarse de manera favorable en el suelo y en ambientes de estrés hídrico, por ejemplo, su cutícula quitinosa los protege contra la desecación y sus quelíceros les permiten morder y cortar sustrato rígido. Los oribátidos son el grupo de ácaros que se presenta estas características y el que mayor distribución tiene en suelo (González y Seastedt, 2001).

Por otro lado, a diferencia del bosque de *Quercus*, el suelo presente en *P. hartwegii* pertenece al orden de los Andosoles (Santibáñez, 2009), que son suelos profundos y porosos pero con poca materia orgánica, de manera que no es sorprendente el haber encontrado una relación exponencial positiva entre la cantidad de mantillo y el número de organismos, pues es en el mantillo donde encontrarán MO con nutrientes suficientes para alimentarse.

Es importante hacer notar que un número alto de individuos en el suelo no implica necesariamente que la descomposición de la MOM será rápida (Heneghan *et al.*, 1999). Existen trabajos en la misma área que indican que la velocidad de descomposición del mantillo de *P. hartwegii* es muy baja (Unger, en preparación), pues otros factores influyen en el proceso, como las bajas temperaturas y el índice de C/N que es elevado en estos bosques, haciendo poco palatable el recurso y de baja calidad. Smith y Bradfor (2003) establecen que la tasa descomposición de la MOM está relacionada con la biota del suelo, que influirá en ella a corto plazo dependiendo de la movilidad que tengan estos organismos. En cambio, el recurso influye en la fauna dependiendo de sus características. Si su calidad es alta, la riqueza taxonómica de los animales aumenta y si la cantidad del mantillo es alta, aumenta la abundancia de los organismos. Esto concuerda con los resultados obtenidos en el estudio: la abundancia en el bosque de *P. hartwegii* es la más alta y en el bosque de *Quercus* la riqueza taxonómica es la mayor.

El bosque de *A. religiosa* fue más parecido en el número de individuos a *Quercus* y en el número de grupos taxonómicos y la cantidad de mantillo a *P. hartwegii*. Sin embargo, la relación entre el mantillo y el número de organismos fue inversa, ya que se trata de un exponencial negativo, que indica que a menor cantidad de mantillo en el suelo, mayor será la cantidad de organismos que habiten en él. Es importante mencionar que la relación C/N es intermedia entre *P. hartwegii* y *A. religiosa*, pero la temperatura de *A. religiosa* es la más baja de los tres bosques durante todo el año. Esto parece indicar que la gran acumulación local del mantillo es por la lenta descomposición y entre más gruesa es la capa de materia orgánica, más lenta será la difusión de energía (calor) hacia abajo, así que esta podría ser la razón de que se encuentren más organismos en las capas delgadas de mantillo. Además de que por efecto de la lenta descomposición se podría suponer que a mayor profundidad del mantillo, menor cantidad de nutrientes de fácil descomposición se encontrarán (Barnes *et al.*, 1998; Brown *et al.*, 2004)

Esta interpretación de los resultados permite hipotetizar que el flujo de materia y energía será más rápido en el bosque de *Quercus* debido a que presenta un microclima más

favorable para la actividad de la fauna del suelo, la calidad del recurso es la mejor de los tres bosques, y porque se tiene una mayor cantidad de grupos taxonómicos.

Finalmente, por lo que respecta a los grupos taxonómicos encontrados, estos pueden dividirse en tres grandes categorías:

a) Grupos generalistas: aparecen en los tres bosques y a lo largo de todo el año, tal es el caso de los ácaros, los colémbolos y las larvas de insectos, y en menor medida los hemípteros, las lombrices, los escarabajos y los psocópteros. Esto se debe a que pueden establecerse en una gran gama de condiciones ambientales y de recursos (Heneghan et al., 1999; Gonzáles y Seastedt, 2001; Estrada-Venegas, 2007; García, 2009), ya que gran parte de su energía es asignada a dejar una gran cantidad de descendientes, características que han sido moldeadas a lo largo de la evolución. Aunque no se clasificó a nivel específico se sabe que cuando la fauna generalista presenta un gran número de especies, muchas de éstas son redundantes en su función ecológica, favoreciendo ciertos procesos ecosistémicos, por ejemplo la liberación de nutrientes inmobilizados por la microbiota descomponedora o permitiendo su intercambio, formando microagregados o la reducción de biomasa vegetal o fragmentación de la MOM (Cole *et al.*, 2006).

b) Grupos estacionales: Aparecieron preferentemente en alguna época del año en todos o algunos de los bosques. Como el caso de las arañas, cuya población se incrementa al iniciar la época de lluvias porque es cuando la población de sus presas aumenta, o el caso de Gastrópoda que se presenta en buen número pero sólo en un tipo de vegetación, siendo raro o inexistente en las otras debido a la temperatura y la humedad bajas (Naranjo-García, 2003) de éstas últimas; Pseudoscorpionida que estuvo en *P. hartwegii* y *Quercus* en una sola colecta y Orthoptera, que sólo apareció en el bosque de *Quercus*. Cada uno de estos órdenes responde de diferente manera a las condiciones de su ambiente. En el caso de Arachnida, podría deberse a que es durante el inicio de lluvia que también se incrementan otras poblaciones de la fauna del suelo, permitiendo que encuentre más presas con que alimentarse, o el mantillo es sólo un refugio para resistir condiciones adversas o huir de sus depredadores (Vázquez-Rojas y Gaviño-Rojas, 2008). Los casos especiales de *Quercus*

podrían deberse tanto a su alta calidad de mantillo acumulado o a las bajas fluctuaciones del microclima y a los altos niveles de humedad y temperatura que se conservan durante todo el año, a diferencia de los otros dos bosques (Sharon et al., 2001).

c) Grupos raros. Aparecen ocasionalmente y en uno o dos tipos de vegetación. Tal es el caso de Embioptera, Hirudinea y Lepidoptera en el bosque de *Quercus* y Protura en el bosque de *A. religiosa*. En el caso de los embiópteros y las sanguijuelas, su presencia en *Quercus* podría deberse a la alta humedad de este bosque, ya que sus ciclos de vida se encuentran muy ligados a la presencia de humedad elevada o cuerpos de agua (Brusca y Brusca, 2003).

Sería necesario realizar muestreos en un área más grande para ver si estas tendencias se mantienen y también realizar identificaciones taxonómicas a un nivel taxonómico más específico para poder comprender mejor los cambios que suceden en esta comunidad.

9. CONCLUSIONES

- 1) El microclima más estable y con los valores más altos de temperatura y humedad se registró en el bosque mixto de *Quercus*.
- 2) El mantillo con la calidad más alta (medido con la relación C/N) fue el del bosque mixto de *Quercus*.
- 3) Se encontró un rango de 20 a 25 grupos taxonómicos (clase, orden), pero es necesario bajar más en el nivel de la determinación taxonómica para comparar con otros trabajos.
- 4) El bosque mixto de *Quercus* presentó la mayor cantidad de grupos taxonómicos.
- 5) El bosque de *P. hartwegii* registró el mayor número de individuos con la presencia dominante de Acari.
- 6) Parece haber una estrecha relación entre la cantidad de mantillo y la abundancia de la fauna, la cual es particular para cada bosque.
- 7) Se encontraron patrones espacio-temporales diferentes para la fauna del suelo en la Cuenca del Río Magdalena.

10. BIBLIOGRAFÍA:

Álvarez-Sánchez, F. J. 2001. Descomposición y ciclo de nutrientes en ecosistemas terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana*, número especial, 1:11-27.

Arangon, A. 2006. "Heterogeneidad espacial y dinámica de la descomposición de hojarasca de cuatro especies abundantes en la reserva ecológica del Pedregal de San Ángel" Tesis de Licenciatura. UNAM. México.

Ambasht, R. S. y A. K. Srivastava. 1995. Tropical litter decomposition: a holistic approach. *In* Reddy, M. V. *Soil Organisms and Litter Decomposition in the Tropics*. Westview Press, Boulder, CO, USA, pp. 225-247.

Anderson J. and S. Ingranm. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods*. CAB International. Oxford. 221 pp.

Attington, S. E., D. E. Weibel, T. Lachat, B. Sinsin, P. Nagel y R. Peveling. 2004. Leaf litter breakdown in natural and plantation forests of the Lama forest reserve in Benin. *Applied Soil Ecology* 27:109-124.

Aubert, M., P. Margerie, J. Trap, y F. Bureau. 2010. Aboveground-belowground relationships in temperate forests: Plant litter composes and microbota orchestrates. *Forest Ecology and Management* 259:563-572.

Barajas M. G. 1996. La influencia de la meso y macrofauna en la descomposición de la fracción foliar de la hojarasca de especies arbóreas en una selva húmeda tropical. Tesis de Maestría. UNAM. México.

Barajas-Guzmán, G. y J. Alvarez-Sánchez. 2003. The relationships between litter fauna and rates of litter decomposition in a tropical rain forest. *Applied Soil Ecology* 24,91-100.

Barnes, V. V., D. R. Zak., S. R. Denton y S. H. Spurr. 1998. *Forest Ecology* 4th ed. John Wiley & Sons, Inc. EEUU, 774 pp.

Briones, J. A. 2011. Deterioro ambiental en la vegetación ribereña del Río Magdalena, D. F., México. Tesis de Licenciatura. UNAM. México. 76 pp.

Brown, G. G., C. Fragoso, I. Barois, P. Rojas, J. C. Patrón, J. Bueno, A. G. Moreno, P. Lavelle, V. Ordaz y C. Rodríguez. 2001. *Acta Zoológica Mexicana*, número especial, 1:79-110.

Brown, G. G., A. G. Moreno, I. Barois, C. Fragoso, P. Rojas, B. Hernández y J. C. Patrón. 2004. Soil macrofauna in SE Mexican pastures and the effect of conversion from native to introduced pastures. *Agriculture Ecosystems & Environment* 103:313-327.

Brusca, R. C. y G. J. Brusca. 2003. *Invertebrates*. Sinauer. Massachusetts. 936 pp.

Bueno, J. y I. Barois. 1997. Monitoreo de la fauna del suelo en pastizales del municipio de Reforma, Chiapas. Informe del Proyecto “Monitoreo edafológico de áreas influenciadas por las actividades de PEMEX en el estado de Tabasco y Chiapas”. UNAM, Instituto de Geología, México, D.F.

Calderón, G y J. Rzedowski. 2005. *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2ª ed., 1ª reimp., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacan), 1406 pp.

Campbell, N. A., J. B. Reece, M. R. Taylor, y E. J. Simon. *Biology: concepts & connections*. 1994. The Benjamin/Cumming Publishing company. E.E.U.U. 846 pp.

Chapin, F. S., P. A. Matson y H. A. Mooney. 2002. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer. New York. 436 pp.

Cole, L., M. A. Bradford, P. J. A. 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 y P. F. Hendrix. 2004. *Fundamentals of Soil Ecology* 2nd ed. Elsevier Academic Press. USA. 386 pp

Cornelissen, J. H. 1996. An experimental comparison of leaf decomposition rates in a wide range of temperate plant species and types. *J. Ecology*, 84:573-582

Cyr, H. y M. L. Pace. 1993. Magnitude and patterns of herbivory in aquatic and terrestrial ecosystems. *Nature*, 361:148-150.

Delegación La Magdalena Contreras. 2011. Servicios: Agua Potable. <http://www.mcontreras.df.gob.mx/servicios/agua.html>. 8-Nov-11

Delgadillo, E. 2011. Productividad primaria neta de los bosques templado de la Cuenca del Río Magdalena. Tesis de Maestría. UNAM. México. 82 pp.

Estrada-Venegas, E. 2008. Ácaros Oribatidos (Acari: Oribatida) Asociados a madera en descomposición en “La Mancha”, Veracruz. En Estrada E. G. *In* Fauna del suelo I: Micro, meso y macrofauna. Colegio de Posgraduados. México. Pp 67-86.

Fernandez, M. T. E. 1997. Programa de Manejo para la Conservación de la Zona Protectora Forestal “Cañada de Contreras” Distrito Federal, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. 130 pp.

Fragoso, C., P. Reyes-Castillo y P. Rojas. 2001. La importancia de la biota edáfica en México. *Acta Zoológica Mexicana N. S.* 1:1-10.

García, A. 2009. Estructura de comunidades de artrópodos edáficos asociados a suelo y hojarasca en diferentes altitudes del Iztaccihuatl. Tesis de Maestría. UNAM. México. 75 pp.

García, E. 1978. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 4ª ed. Ed. La Autora, México, D.F. 218 pp.

García, J. A., I. Barois, M. Santos, P. Rojas, C. Fragoso, M. A. Morón, J. Bueno-Villegas & C. Sormani. Land use and diversity of the soil Macrofauna in Santa Marta, Los Tuxtlas, Veracruz, México. En Barois, I., E. J. Huisling, P. Okoth, D. Trejos, M. De Los Santos. 2009. *Below-Ground Biodiversity in Sierra de Santa Marta, Los Tuxtlas, Veracruz, Mexico*. Instituto de Ecología, A. C. México. 262 pp.

Gardenbreizh. 2010. *Quercus laurina*. de Chasquea, 2010
<http://gardenbreizh.org/photos/chusquea/photo-424790.html>

Gernandt, D. S. 2011. Conos de *Pinus hartwegii*. DSG907.
<http://www.mexicanconifers.org/data/collections/vouchers/dsg907>. 8-nov-2011.

González, G. y T. R. Seastedt. 2001. Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and subalpine forest. *Ecology* 82:955-964.

Heal, O. W., J. M. Anderson y M. J. Swift. 1997. Plant litter quality and Decomposition: An Historical Overview. Pp 3-32. En: Cadish, G. y K. E. Giller (Eds). *Driven by Nature. Plant litter quality and decomposition*. University Press, Cambridge, Londres. 409 pp.

Heneghan, L., D. C. Coleman, X. Zou, D. A. Crossley, Jr., y B. L. Haines. 1999. Soil microarthropod contributions to decomposition dynamics: Tropical-Temperate comparisons of a single substrate. *Ecology* 80:1873-1882.

Huhta, V. 2007. The role of soil fauna in ecosystems: A historical review. *Pedobiologia* 50:489-495.

Johnson, D. L., J. E. J. Domier y D. N. Johnson. 2005. Reflections on the Nature of Soil and Its Biomantle. *Annals of the Association of American Geographers*, 95:11-31

Jones, C. G., J. H. Lawton y M. Shachak. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373-386.

Kavvadias, V. A., D. Alifragis, A. Tosiontsis, G. Brofa y G. Stamatelos, 2001. Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four Forest ecosystems in northern Greece. *Forest Ecology and Management* 144:113-127.

Lavelle, P., E. Blanchart, A. Martin, S. Martin, A. Spain, F. Toutain, I. Bariois y R. Schaefer. 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems : Application to soils of the humid tropics. *Biotropica*, 25:130-150.

Lavelle, P., M. Dangerfield, C. Fragoso, V. Eschenbrenner, D. López-Hernández, B. Pashanasi, L. Brussaard. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. *In* Wooper, P. L., M. J. Swift (Eds.). *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*. Wiley, Chichester. Pp. 137-169.

Lavelle, P. A y A. V. Spain. 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers. Holanda. 654 pp.

Lee, K. E. y R. C. Foster. 1991. Soil Fauna and Soil Structure. *Australian Journal of Soil Research* 29:745-775

Luis, M. 1987. Distribución altitudinal y estacional de los Papilionoidea (Insecta; Lepidoptera) en la cañada de los Dinamos: Magdalena Contreras, D.F. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. 113 pp.

Maass, M. y F. García-Oliva. 1990. La conservación de los suelos en zonas tropicales. El caso de México. *Ciencia y Desarrollo* 15, 21-36.

Macfadyen, A. 1961. Improved Funnel-Type Extractors for Soil Arthropods. *Journal of Animal Ecology* 30:171-184.

Martínez, A. 1980. Tasas de descomposición de la materia orgánica foliar de especies arbóreas de selvas en clima estacional. Tesis de Licenciatura. UNAM. México. 126 pp.

Martínez-Falcón, P. 2006. Biodiversidad de meso y macrofauna y su influencia en la descomposición de la hojarasca en un bosque templado sujeto a manejo forestal. *Entomología Mexicana* 2006:321-326.

Meentemeyer, V. 1995. Meteorologic control of litter decomposition with an emphasis on tropical environments. En: Reddy, M. V. (Ed). *Soil Organisms and Litter Decomposition in the Tropics*. Westview Press. Boulder, CO, USA. pp. 153-182.

Mills, C. 2010. *Abies religiosa* Lindl.. *Hortus Camdenensis*.

<http://hortuscamden.com/plants/view/abies-religiosa-lindl>. 19-jun-2011.

Moreno, D. M. 2006. Composición y abundancia de la meso y macrofauna edáfica asociada a la descomposición del tejido leñoso de dos especies arbóreas de una selva tropical húmeda. Tesis de Licenciatura. UNAM. México. 72 pp.

Naranjo-García, E. 2003. Malacofauna de la hojarasca. In: Ecología del Suelo en la Selva Tropical Húmeda de México. Eds:Álvarez-Sánchez, J y E. Naranjo-García. Pp. 141-161. Instituto de Ecología, A.C., Instituto de Biología y Facultad de Ciencias, UNAM. Xalapa, México.

Nava, M. 2003. Los bosques de la Cuenca Alta del Río Magdalena, D.F., México. Un estudio de vegetación y fitodiversidad. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México. 64 pp.

Odum, H. T. y E. C. Odum. 2000. Modeling for All Scales: An Introduction to System Simulation. Academic Press. USA. 458 pp.

Olsen, S. y L. Sommers. 1982. Phosphorus. In: Methods of Soil Analysis. Eds. A. Payer, R. Miller y D. Kenney. Pp. 1035-1048. American Society of Agronomy, Madison. USA.

Ortega, M. R. 2008. Efectos del tipo de uso de suelo urbano sobre la diversidad, estructura y composición de las comunidades de aves del suroeste de la zona metropolitana de la Ciudad de México. Tesis de Licenciatura. UNAM. México. 57 pp.

Pedigo, L. P. 2006. Entomology and pest management. Pearson Prentice Hall. New Jersey. 749 pp.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa, México, D.F., 432 pp.

Rzedowzki, J. y G. C. Rzedowski. 1989. Sinopsis numérica de la Flora Fanerogámica del Valle de México. Vol. II. Instituto de Ecología. México, D.F. 674 pp.

Santibáñez, G. 2009. Composición y estructura del bosque de *Abies religiosa* en función de la heterogeneidad ambiental y determinación de su grado de conservación en la cuenca del Río Magdalena, México, D. F. Tesis de maestría. UNAM. México. 134 pp.

Sariyildiz, T. y J. M. Anderson. 2003. Interactions between litter quality, decomposition and soil fertility: a laboratory study. *Soil Biology and Biochemistry*, 35:391-399.

Sharma, B. M. 2007. Functional Roles of Soil Arthropods in Forest Ecosystems. Pp 51-60. En Scaggs, A. K. *New Research on Forest Ecology*. Nova Science Publishers, Inc. New York. 257 pp.

Sharon, R., G. Degani y M. Warburg. 2001. Comparing the soil. Macro-fauna in two oak-wood forest: does community structure differ under similar ambient conditions? *Pedobiologia* 45:355-366

Shaw, M. R. y J. Harte. 2001. Control of litter decomposition in a subalpine meadow-sagebrush steppe ecotone under climate change. *Ecological Applications* 11:1206-1223.

Singh, S. y S. Gupta. 1977. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *Botanical Review* 43:449-528.

Smith, V. C. y M. A. Bradford. 2003. Litter quality impacts on grassland litter decomposition are differently dependent on soil fauna across time. *Applied Soil Ecology* 24:197-203.

Swift, M. J., O. Heal y J. Anderson. 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Studies in Ecology. Univ. of California Press, San Francisco. 371 pp.

UNESCO. 1974. *FAO/UNESCO Soil map of the world 1:5,000,000 Vol. 1* Paris.

UNESCO, 1978. *Tropical forest ecosystems: a state-of-knowledge report*. UNESCO, Paris, 683 pp.

United States Department of Agriculture y Natural Resources Conservation Service. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. USDA. Washington D. C. 336 pp.

Vázquez-Rojas, I. M. y R. Gaviño-Rojas. 2003. Los arácnidos y su relación con el suelo. In: *Fauna del suelo I: micro, meso y macrofauna*. Ed: Estrada, E. G. Pp. 114-125. Colegio de Postgrados. México.

Villarruel, J. L. 2007. Macromicetos de la cuenca del río Magdalena y zonas adyacentes, Delegación La Magdalena Contreras, México, D. F. *Revista Mexicana de micología* 25:59-68

Wardle, D. A. 2002. *Communities and Ecosystems: linking the aboveground and belowground components*. Princeton University Press, Princeton. 392 pp.

Wall, D. H., Bradford, M. A., M. G. St. John, J. A. Trofymow, V. Behan-Pelletier, D. E. Binell, J. M. Dangerfield, W. J. Parton, J. Rusek, W. Boigt, V. Wolters, G. Z. Gardel, F. O. Ayke, R. Bashford, O. E. Beljakova, P. J. Bohlen, A. Brauman, S. Flemming, J. R. Henschel, D. L. Johnson, T. H. Jones, M. Kovarova, J. M. Kranabetter, L. Kutny, K. Lin, M. Maryati, D. Masse, A. Pokarzhevskii, H. Rahman, M. G. Sabará, J. Salamon, M. J. Swift, A. Varela, H. L. Vasconcelos, D. White y X. Zou. 2008. Global decomposition experiment shows soil animal impacts on decomposition are climate-dependent. *Global Change Biology* 14:2661-2667

WMNU en asociación con Gila Wilderness. *Quercus rugosa* de R. Kleinman y R. Fegler, 2007. http://www.wnmu.edu/academic/nspages/gilaflorea/quercus_rugosa.html