

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**Densidad de la fauna edáfica como indicador de
calidad del suelo en bosques templados y zonas
adyacentes en México**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I Ó L O G O
P R E S E N T A
ARTURO RAMÍREZ GUTIÉRREZ

Director de tesis: Dr. Gerardo Cruz Flores

Proyecto apoyado por PAPIIT IN228403

México, D. F.

Septiembre de 2008





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.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por haberme dado la oportunidad de llegar hasta aquí y de poseer los conocimientos de los que dispongo.

A mi hermana Elisa, por su amor y ser siempre mi fuente de inspiración para ser mejor.

A mi esposa Libier, el amor de mi vida, por haberme apoyado durante la elaboración de este trabajo y de todos los proyectos que he emprendido, desde que nos conocimos.

A mis amigos y compañeros del Laboratorio de edafología y nutrición vegetal, que contribuyeron con una parte importante de este trabajo, Alfredo, Miguel Ángel, Iván, Cohetero, Belem, Tania, Quique, Elid, Adriana, Casandra y sobre todo a Claudia por su gran amistad.

Al Dr. Gerardo, por su amistad, apoyo y comprensión, y por ser uno de los mejores maestros que he tenido en mi vida.

Fortaleza

*No hay más fortaleza que la del espíritu,
No fundes tus esperanzas en los demás,
Aprende a bastarte por ti mismo y serás el vencedor y no el vencido,
Conócete a ti mismo para aprender a conocer a los demás,
Arráncale triunfos a la vida y no derrotas,
Que tú valor se base en la firmeza de tú carácter y en la rectitud de tus pensamientos,
Si tú grandeza radica en tú mente y tu corazón esta perdurara por siempre,
Todo infortunio ha de darte una lección para el porvenir,
Toda desgracia debe servirte de apoyo para alcanzar más altos niveles de perfección moral,
No arrebatas jamás la felicidad que no puedas dar,
El bien repercute en quien lo hace y el mal retorna siempre al mismo punto de donde partió.*

Anónimo

ÍNDICE TEMÁTICO

	Página
Índice de Figuras	I
Índice de Cuadros	II
1. ABSTRACT	III
2. RESUMEN	IV
3. INTRODUCCIÓN	1
4. REVISIÓN DE LITERATURA	2
4.1 Los ecosistemas templados	2
4.2 Los bosques templados de México	3
4.3 Los bosques de coníferas y encinos	4
4.4 Actividades humanas en los bosques templados	5
4.5 Servicios ambientales	7
4.6 El suelo y su importancia	8
4.7 Propiedades Edáficas	10
4.7.1 Propiedades físicas	10
4.7.2 Propiedades químicas	13
4.8 Organismos del suelo	15
4.9 Tamaño de los habitantes del suelo	16
4.10 Función de la fauna edáfica	18
4.11 Calidad de suelo	20
4.12 La fauna edáfica como indicadora de calidad de suelo	21
5. ANTECEDENTES	23
6. JUSTIFICACIÓN	24
7. HIPÓTESIS	24
8. OBJETIVOS	24
9. ZONAS DE ESTUDIO	25
9.1 Parque Nacional Iztaccíhuatl y Popocatepetl	25
9.2 P. N. Hacienda de Zoquiapan y Anexas	26
9.3 Parque Nacional Benito Juárez	28
9.4 Reserva de La Biosfera Sierra de Manantlán	29
9.5 Subprovincia Mil Cumbres	32
10. MATERIALES Y MÉTODOS	35
10.1 Delimitación de las áreas de estudio	35
10.2 Toma de muestras	36
10.3 Pretratamiento de muestras	37
10.4 Análisis de laboratorio	37
10.5 Diagrama de Flujo	40
11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41

11.1 Descripción general de las condiciones fisiográficas de los sitios de estudio	41
a) Parque Nacional Iztaccíhuatl – Popocatepetl	41
b) P. N. Hacienda Zoquiapan y Anexas	42
c) P. N. Benito Juárez y Anexas	43
d) Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán	44
e) Subprovincia Mil Cumbres	45
11.2 FAUNA EDÁFICA	47
a) Parque Nacional Iztaccíhuatl – Popocatepetl	47
b) P. N. Hacienda Zoquiapan y Anexas	48
c) P. N. Benito Juárez y Anexas	49
d) Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán	50
e) Subprovincia Mil Cumbres	51
11.3 INDICADORES FÍSICOS DE CALIDAD DEL SUELO	58
a) Parque Nacional Iztaccíhuatl – Popocatepetl	58
b) P. N. Hacienda Zoquiapan y Anexas	60
c) P. N. Benito Juárez y Anexas	61
d) Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán	62
e) Subprovincia Mil Cumbres	63
11.4 INDICADORES QUÍMICOS DE CALIDAD DEL SUELO	66
a) Parque Nacional Iztaccíhuatl – Popocatepetl	66
b) P. N. Hacienda Zoquiapan y Anexas	67
c) P. N. Benito Juárez y Anexas	68
d) Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán	69
e) Subprovincia Mil Cumbres	70
12. CONCLUSIONES	74
13. LITERATURA CITADA	75
14. APÉNDICE	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Distribución mundial de los biomas de bosque templado y de bosque boreal	2
2. Distribución de los climas templados en México	4
3. Distribución de los ecosistemas templados en México	5
4. Perfil de suelo y sus horizontes	9
5. Diferentes formas de vida que habitan el suelo	15
6. Localización aproximada de las zonas de estudio	35
7. Bosque de <i>Pinus sp.</i>	35
8. Campo agrícola aledaño a un bosque	35
9. Método del cilindro, para determinar densidad aparente y contenido de humedad	36
10. Submuestra de suelo 0-20 cm	36
11. Submuestra de suelo 0-10 cm.	36
12. Embudos tipo Berlesse	39
13. Recipientes con fauna edáfica	39
14. Observación de organismos edáficos	39
15. Imagen a 45X de tres ácaros	39
16. Bosque de pino en Zoquiapan, ecosistema típico del eje neovolcánico.	43
17. Árbol joven de la especie <i>Abies religiosa</i>	43
18. Contrastes del paisaje en Oaxaca	44
19. Imágenes de la estación biológica de las Joyas	45
20. <i>A. religiosa</i> especie dominante del eje neovolcánico y mariposa monarca, organismo que llega a reproducirse en bosques de <i>Abies</i>	45
21. Proporciones de la fauna edáfica encontrada	53
22. Variaciones poblacionales de la fauna edáfica y humedad del suelo a lo largo del año	56
23. Distribución altitudinal de la fauna edáfica	57

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Categorías de CE en el suelo	10
2. Categorías de pH en el suelo	14
3. Clasificación de los organismos edáficos con base al tamaño de su cuerpo	17
4. Influencia de los organismos edáficos en los procesos del suelo del ecosistema	19
5. Propiedades de la fauna edáfica usadas como indicadores de calidad de suelo	22
6. Datos de campo de las unidades ambientales muestreadas en Izta-Popo	41
7. Datos de campo de los sitios muestreados, en Zoquiapan	42
8. Datos de campo del Parque Nacional Benito Juárez Y Anexas	43
9. Datos de campo de la Estación Biológica “Las Joyas”	44
10. Datos de campo de Mil cumbres y Anexas	46
11. No. de organismos estimados en un m ² en el P. N. Iztaccíhuatl-Popocatepetl	48
12. No. de organismos estimados en un m ² en Zoquiapan y anexas	49
13. No. de organismos estimados en un m ² del P. N. Benito Juárez y Anexas	50
14. No. de organismos estimados por m ² en la Sierra de Manantlan	51
15. No. de organismos estimados en un m ² de Mil cumbres, en Marzo de 2006	52
16. No. de organismos estimados en un m ² de suelo de Mil cumbres, Noviembre 2006	53
17. No. de organismos en las distintas asociaciones vegetales	54
18. Parámetros físicos de suelo del Parque Iztaccíhuatl-Popocatepetl	59
19. Parámetros físicos de suelo de Zoquiapan	60
20. Parámetros físicos de suelo del Parque Nacional Benito Juárez Y Anexas	61
21. Parámetros físicos de suelo, de la Sierra de Manantlan	62
22. Parámetros físicos del suelo de Mil cumbres	64
23. Parámetros físicos del suelo de las Áreas Naturales	65
24. Parámetros químicos del suelo del parque Iztaccíhuatl-Popocatepetl	67
25. Parámetros químicos de suelo, de Zoquiapan	68
26. Parámetros químicos de suelo del Parque Nacional Benito Juárez Y Anexas	69
27. Parámetros químicos de suelo, de la Sierra de Manantlan	70
28. Parámetros Químicos del suelo del Área Natural Protegida de Mil cumbres	71
29. Parámetros Químicos del suelo de las Áreas Naturales.	72

1. ABSTRACT

This research was conducted in temperate forests of National Parks Izta-Popo, Zoquiapan, Benito Juárez, Mil Cumbres Subprovince, "Sierra de Manantlán" Biosphere Reserve and agricultural soils very close to them.

Whereas knowledge of soil fauna which helps establish the soil health state, the objective of this research was to relate the soil fauna density with physical and chemical properties and for use in estimating soil quality and thus contribute to better use of this resource.

We studied 42 sites located in different elevational gradients of 2400 to 3900m at Izta-Popo, from 2600 to 3000m in Zoquiapan; from 1800 to 3000m in PNB, and from 1950 to 2400m in the RBSM. Four samples were collected from soil to 0.1 and 0.2 m deep, to quantify the density of the soil fauna and the physical and chemical properties of soil

It was found that most soils are acidic (pH <5.7), smooth salinity (<0.07 dS m⁻¹), presented high porosity (> 50%) and are rich in organic matter (average 7.7%), which affects low bulk density values (<0.97g cm⁻³). In soils of temperate forests studied, more than 75% of the organisms collected were mites and springtails. Regarding the elevation, in the interval from 2800 to 3400m, density and distribution of soil fauna was higher. Regarding seasons, the highest soil fauna densities were found in the autumn. Regarding vegetation, the diversity and abundance of soil fauna was higher in forest soils under *Abies*, compared to Pine. The soil fauna to be related to some properties that determine the soil quality, (humidity, sand, potential pH, electrical conductivity, potassium interchangeable), you can use as soil quality indicator but more studies are needed at different times in the same places.

2. RESUMEN

Esta investigación fue realizada en bosques templados de los Parques Nacionales Izta-Popo, Zoquiapan, Benito Juárez, Subprovincia Mil Cumbres y Reserva de la Biosfera “Sierra de Manantlán” y suelos agrícolas muy cercanos a ellos. Considerando que el conocimiento de la fauna del suelo ayuda a establecer el estado de salud del mismo, el objetivo de esta investigación fue relacionar la densidad de la fauna edáfica con las propiedades físicas y químicas del suelo y para utilizarla en la estimación de la calidad del suelo y así contribuir a un mejor uso de este recurso. Se estudiaron 42 sitios, ubicados en distintos gradientes altitudinales, de 2400 a 3900m en Izta-Popo; de 2600 a 3000m en Zoquiapan; de 1800 a 3000m en el PNB; y de 1950 a 2400m en la RBSM. Se colectaron cuatro muestras de suelo a 0.1 y 0.2 m de profundidad, para cuantificar la densidad de la fauna edáfica y las propiedades físicas y químicas de los suelos. Se encontró que la mayoría de los suelos son ácidos ($\text{pH} < 5.7$), sin problemas de salinidad ($< 0.07 \text{ dS m}^{-1}$), presentan alta porosidad ($> 50\%$) y son ricos en materia orgánica (promedio 7.7%), lo cual repercute en valores de baja densidad aparente ($< 0.97 \text{ g cm}^{-3}$). Se encontró que más del 75% de los organismos colectados, fueron Ácaros y Colémbolos. La densidad y distribución de la fauna edáfica fue mayor en el intervalo altitudinal de 2800 a 3400m. La época del año, con las más altas densidades de fauna edáfica registrada, fue el otoño.

Con respecto al tipo de vegetación, la diversidad y abundancia de organismos fue mayor en suelos bajo bosques de oyamel, respecto a los de pino. La fauna edáfica, al estar relacionada con algunas propiedades que determinan la calidad de suelo, como el porcentaje de humedad, arena, pH potencial, conductividad eléctrica, potasio intercambiable, puede ser buena indicadora de calidad del suelo, aunque se necesitan realizar más estudios al respecto.

3. INTRODUCCIÓN

El suelo es un cuerpo natural complejo, producto de las interacciones del material parental con el ambiente, el tiempo y los seres vivos, los cuales le imprimen sus características particulares. El suelo es la base de la que dependen los seres vivos de los ecosistemas terrestres ya que de éste, los autótrofos obtienen los elementos necesarios para su desarrollo y de esta manera pueden sostener a todos los demás organismos. Es el hogar de una gran cantidad y diversidad de formas de vida, que van desde tamaños tan minúsculos como una bacteria o tan “grandes” como un topo. Un organismo de la fauna edáfica es aquel que vive en la superficie o en el interior del suelo de manera temporal o permanente (Urbano y Rojo, 1992).

La mayor parte de los animales del suelo que no son unicelulares pertenecen, al Phylum Arthropoda, el cual es el más exitoso tanto en número, como especies del reino animal y de dicho Phylum los órdenes más abundantes son Acarina y Collembola (Parisi , 1979).

Los organismos del suelo juegan un papel importante en el ecosistema por que contribuyen a convertir los nutrientes contenidos en la materia orgánica a una forma aprovechable para las plantas, a la supresión de organismos nocivos, y algunos de ellos se alimentan de los mismos habitantes del suelo y otros más sirven de alimento a organismos de estratos superiores. Además la fauna edáfica influye sobre la estructura del suelo y juegan un papel crítico en los procesos de infiltración de agua.

De acuerdo con Fränzle (2006) los bioindicadores ecológicos o indicadores son organismos sensibles, a un estrés ambiental que repercute en la calidad y cantidad de dichos organismos, por lo que determinan el estado del ecosistema, la designación generalmente se refiere al estrés de origen antropogénico. Los bioindicadores pueden avisar tempranamente de las perturbaciones que se están llevando a cabo en el medio.

Al conocer las condiciones en que se encuentra el suelo, se pueden proponer medidas para que la utilización del recurso no afecte la producción y el bienestar de las plantas y animales, que viven tanto en ambientes naturales como aquellos creados por el mismo hombre. En la determinación de la salud o calidad del suelo, los indicadores biológicos utilizados para tal fin deberán ser accesibles en términos económicos y sensibles a la perturbación en cortos periodos de tiempo (Doran y Zeiss, 2000).

Doran y Zeiss (2000), mencionan que los organismos del suelo y sus parámetros ecológicos (abundancia, diversidad, estructura de la red trófica y estabilidad de la comunidad) son usualmente

utilizados como indicadores de salud del suelo, ya que la fauna edáfica, es sensible a las perturbaciones que pueda sufrir el suelo como son la contaminación, las variaciones del clima y sobre todo al manejo que le dé el hombre. Por lo anterior el conteo de los organismos es importante, ya que los factores del estrés mencionados repercuten en su distribución, densidad y abundancia, dado que están correlacionados con las funciones benéficas del suelo, son excelentes indicadores para elucidar los distintos procesos del ecosistema.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Los ecosistemas templados

Los ecosistemas templados forman parte del conjunto de vegetación típico de latitudes no tropicales, en donde el clima tiene una estacionalidad anual marcada y un invierno durante el cual la temperatura cae por debajo de 0°C, frecuentemente con heladas, nevadas y períodos prolongados de congelamiento. Esta vegetación la integran distintos “biomas”, o conjuntos de ecosistemas afines (Challenger, 2003).

A nivel mundial el bioma de los bosques templados se caracteriza típicamente por un clima de tipo Cfa o Cfb, templado húmedo con lluvias a lo largo del año y un verano cálido mientras el bioma de los bosques boreales o “taiga” se caracteriza típicamente por un clima de tipo Dfc, frío, con inviernos muy largos, lluvias durante todo el año y un verano corto (Figura, 1).



Figura 1. Distribución mundial de los biomas de bosque templado (en color gris) y de bosque boreal o taiga (en color negro) (Challenger, 2003).

Los ecosistemas templados de México se relacionan estrechamente con estos dos biomas, aunque existen varias diferencias importantes. Por ejemplo la taiga, propia del tipo de clima frío, no existe en México. Además, dada la posición geográfica del país entre los Trópicos de Cáncer y de Capricornio, la marcada estacionalidad típica de los climas templados de latitudes más septentrionales es menos notoria. Aunado a las diferencias mencionadas en los ecosistemas templados de México, existen ciertos elementos florísticos de los ecosistemas tropicales, que están ausentes en los bosques templados de mayor latitud (Rzedowski, 1978).

4.2 Los bosques templados de México

La condición de México, como país megadiverso, es ampliamente conocida en el mundo. Dicha diversidad es debida a su historia biogeográfica, a la topografía, todo ello ha creado un intrincado mosaico de ambientes, que han generado la enorme gama de especies. Aunque cabe aclarar que su alta diversidad biológica suele asociarse de manera importante con las selvas tropicales, los ecosistemas de regiones templadas contribuyen significativamente en la conformación de la diversidad biológica del país (Challenger, 2003). Dada la ubicación de México, dentro de los trópicos y algo distante de las zonas del planeta dominadas por ecosistemas templados, la presencia de estos en el país se relaciona por el efecto de la altitud y con su vínculo al clima. A mayor altitud la temperatura baja, incluso hasta permitir zonas de nieve perpetúa en las cimas de las montañas más altas, por lo que los ecosistemas templados de México se asocian estrechamente con las zonas montañosas (Tamayo, 1990). La presencia, distribución y variabilidad de los ecosistemas templados en las sierras y serranías del país no sólo depende de la existencia misma de éstas, sino de otros factores como son la abundancia y la estacionalidad de la lluvia, el tipo de suelo, la orientación de la ladera con respecto al sol y la historia biogeográfica de la zona, entre otros (Challenger, 1998).

La distribución de los ecosistemas templados de México esta definida por los tipos de clima Cf, Cw, Cx y Cs del sistema de Köppen, que fue modificado por García (1973) para adecuarlo a las condiciones especiales de México, y que son propios de las zonas montañosas (Figura 2).

Los ecosistemas que se desarrollan bajo estas condiciones climáticas son de varios tipos, pero debido a sus afinidades florísticas y en general a sus semejanzas ecológicas compartidas, se pueden agrupar en dos grandes conjuntos o “zonas ecológicas” el bosque mesófilo de montaña (cuya distribución se asocia con el tipo de clima Cf, aunque no está restringido a éste), y el bosque de coníferas y encinos (o bosque de pino-encino), que se asocia especialmente con el tipo de clima Cw, aunque puede desarrollarse también en climas de tipo Cs y Cx.



Figura 2. Distribución de los climas templados en México (Challenger, 2003)

4.3 Los bosques de coníferas y encinos

Después de los matorrales desérticos de las amplias zonas áridas del país, son los bosques de coníferas y encinos los que mayor extensión del territorio nacional ocupan, con una distribución potencial original de poco más de 20% (Challenger, 1998). Los bosques puros de pino (*Pinus* spp.), de encino (*Quercus* spp.) y de pino y encino juntos, son los ecosistemas que predominan. Sin embargo, los bosques de oyamel o abeto (*Abies* spp.), de pinabete (*Picea* spp. y *Pseudotsuga* spp.), de cedro (*Cupressus* spp.), de sabino (*Juniperus* spp.), de aile (*Alnus* spp.) así como de táscate (*Juniperus* spp.), también se incluyen en esta categoría general (Challenger, 2003).

A diferencia de los bosques de coníferas y encinos de mayores latitudes, los de México se caracterizan por una biodiversidad impresionante. Aunque la diversidad biológica del dosel de un típico bosque de pino o de encino es algo reducida, es bastante más alta de lo que se podría suponer. De hecho, en su conjunto estos ecosistemas son los que más especies de flora y fauna albergan (aun cuando el número de especies por hectárea sea relativamente bajo). Esto se debe, por un lado, al gran número de especies de plantas del sotobosque, que incluyen especies tropicales y de áreas templadas, y por el otro, a la gran heterogeneidad de la composición florística entre los bosques de diferentes regiones dentro de esta zona ecológica. La diversificación de especies que esto ha ocasionado resulta extraordinaria, lo que a su vez explica otra faceta de la importancia mundial de estos ecosistemas: son el centro primario mundial de diversidad de pinos, con más de 50% de todas las especies de pino del mundo; y son el centro primario de diversidad del hemisferio occidental de los encinos, con 33% de las especies del mundo (Challenger, 2003).

La importancia de estos ecosistemas no se deriva únicamente de esta asombrosa diversidad, sino también del hecho de que los pinos y los encinos son los árboles más representativos y económicamente importantes de los ecosistemas templados de México y del mundo; de hecho, son la base misma de la mayor parte de la industria forestal del país. La Figura 3 muestra su posible distribución original, antes de las transformaciones de origen humano.

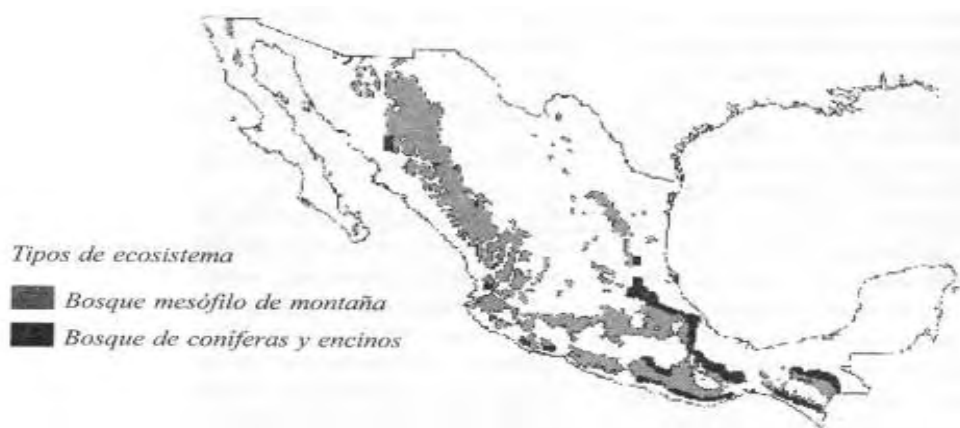


Figura 3. Distribución de los ecosistemas templados en México (Challenger, 2003)

4.4 Actividades humanas en los bosques templados

Desde los comienzos de las actividades agrícolas y del establecimiento de poblaciones sedentarias en México, los bosques de coníferas y encinos se cuentan entre los ecosistemas más afectados por los asentamientos y por las actividades de producción primaria (agricultura y forestal), debido a la fertilidad de sus suelos, el clima agradable con estaciones marcadas (el frío y la temporada seca ayudan a reducir las plagas y enfermedades), y la buena calidad maderable de sus bosques, entre otros factores. Debido a ello, desde hace mucho tiempo estos ecosistemas han sufrido diversos tipos de transformaciones, lo que ha repercutido en su degradación y eliminación en muy vastas extensiones (Challenger, 2003).

A pesar de que el origen de la transformación de estos bosques se remonta a tiempos prehispánicos, con la conquista y la llegada de los europeos, las presiones directas de la población y de uso del suelo se intensificaron más que en cualquier otro tipo de ecosistema. Los españoles fundaron sus asentamientos coloniales y sus haciendas de manera preferencial en las zonas templadas de México, lo que implicó una afectación mayor a los bosques de coníferas y encinos, al

ser deforestados para el establecimiento de campos de trigo, para la construcción de casas, para el pastoreo de ganado, etcétera.

Una causa importante en la transformación de los bosques durante la Colonia fue la minería de la plata. La madera era utilizada como combustible para el beneficio de la plata, por ello bosques enteros fueron talados con este fin durante los siglos XVI al XIX, eventualmente en detrimento del propio beneficio del mineral. Finalmente, la introducción del ganado domesticado del Viejo Mundo fue otro factor importante en la transformación de los bosques de coníferas y encinos, ya que requirió la conversión de muy extensas zonas de bosque en pastizales (Challenger, 1998). Además, la manera tradicional española de promover el renuevo del pasto, mediante la quema, propició incendios forestales que consumieron y aun hoy consumen más de estos ecosistemas (Rzedowski, 1978).

El crecimiento demográfico tan espectacular, que México experimentó a lo largo del siglo XX, ocasiono que la transformación de los bosques templados en zonas de cultivo, áreas urbanas, praderas de pastoreo y su explotación, fueran aun más intensas que en épocas anteriores para poder satisfacer las necesidades de la población, lo que impulso la deforestación de zonas verdaderamente vastas, sobre todo en el centro del país.

Históricamente, las actividades forestales también han tenido un impacto bastante destructivo en los bosques de coníferas y encinos (Rzedowski, 1978). Los troncos rectos, madera blanca y relativamente blanda de los pinos y los oyameles siempre ha sido un atractivo debido a su mayor facilidad de aserrío y para su conversión en tablas, postes, etcétera. Su explotación para su conversión en pulpa de papel es un uso relativamente más reciente, pero que también ha tenido un impacto muy fuerte en los bosques de pino del país. En contraste, los bosques de encino nunca han resultado muy atractivos para las actividades forestales maderables comerciales. Sin embargo, aún son una fuente de leña y de carbón para el uso doméstico y comercial en muchas partes del país, actividades que pueden ser lo suficientemente intensivas como para diezmar bosques enteros.

Dado lo anterior, no es sorprendente que muchos autores consideran que los bosques templados, son los ecosistemas que más han sido transformados y, por lo tanto, están entre los ecosistemas menos conservados del país (Rzedowski, 1978). Siendo el centro del país en donde la deforestación y transformación de este tipo de ecosistemas han sido más intensas. Por otra parte, los bosques de coníferas y de encinos mejor conservados se encuentran en la Sierra Madre Occidental que, hoy como siempre, sigue siendo la masa forestal más grande de este tipo de vegetación. Por ello, las entidades federativas con mayores existencias de bosque de coníferas y encinos son, en orden de

importancia; Durango, Chihuahua, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas y el Estado de México (Challenger, 2003).

4.5 Servicios ambientales

Los bosques son importantes, aunque esa importancia es generalmente asociada a los beneficios económicos, que puedan brindar a sus usuarios y propietarios. Muchas de las especies típicas de los bosques son fuente de materias primas y productos naturales de gran importancia económica. Sin embargo hoy en día la mentalidad ha ido cambiando, debido a una mayor información y a la gran problemática ambiental (cambio climático, escasez de agua, pérdida de biodiversidad, etc.), que se ha hecho necesario valorar a los bosques un poco más por sus beneficios ambientales. Los beneficios ambientales o servicios ambientales se pueden definir como el conjunto de condiciones y procesos naturales (incluyendo especies y genes) que la sociedad puede utilizar y que ofrecen las áreas naturales por su simple existencia (Challenger, 2003; Torres y Guevara, 2007).

Dentro del conglomerado de servicios que brindan los bosques se pueden señalar la biodiversidad, el mantenimiento de germoplasma con uso potencial para el beneficio humano, el mantenimiento de los valores estéticos y filosóficos, la estabilidad climática, la contribución a ciclos básicos (agua, carbono y otros nutrientes) y la conservación de suelos, entre otros. Para el caso particular de recursos forestales, la producción de tales servicios está determinada por las características de las áreas naturales y su entorno socioeconómico (Torres y Guevara, 2007).

Debido a una enorme cantidad de factores, la producción de servicios ambientales se ve día a día amenazada por el uso de prácticas no sustentables de manejo de recursos forestales. Aunque existen muchas razones por las cuales no se generan señales a favor de la conservación de los recursos naturales y con ello una producción sostenida de dichos servicios, las dos de mayor peso son:

No tienen un mercado definido, por lo tanto, no son tomados en cuenta cuando se toman decisiones relacionadas con la administración sustentable de los bosques.

Se conoce muy poco acerca de su cuantía o su relación con las características y procesos desarrollados en las áreas naturales, por lo que muchas veces se plantea, si vale la pena su conservación en detrimento, de la explotación de los recursos naturales y el cambio de uso de suelo.

La falta de un mercado provoca que no exista un precio que refleje cuánto cuesta producirlos, razón por la cual la sociedad actúa como si no costara nada destruirlos o como si existieran en cantidades ilimitadas. Por otro lado, el desconocimiento de las relaciones de producción entre cantidad de servicios producidos y características de las áreas naturales limita el número de

alternativas de manejo que aseguren la sustentabilidad de estas áreas. Ambos problemas conducen a una sobreutilización de los bienes y servicios derivados de las áreas naturales que sí tienen mercado, dando por resultado un eventual agotamiento de estas áreas y la consecuente reducción en la producción de servicios ambientales (Bishop y Landell-Mills, 2003; Torres y Guevara, 2007).

Recientemente ha mejorado considerablemente la interpretación científica del papel que los bosques realizan en estos servicios ambientales. Cada vez queda más claro que la naturaleza y la magnitud de los servicios ambientales dependen en gran medida del sitio, y que su valor económico varía con el número y las actividades de los habitantes de las poblaciones cercanas y lejanas a los ecosistemas. Es un hecho que en muchas partes del mundo, los valiosos servicios ambientales que se podrían obtener a un costo relativamente bajo, se desperdician debido a políticas forestales inadecuadas o ineficaces (Bishop y Landell-Mills, 2003).

4.6 El Suelo y su importancia

El suelo es un cuerpo natural vivo y dinámico que juega un papel importante en los ecosistemas terrestres. En él se da un intercambio continuo de iones y moléculas entre las fases sólida, líquida y gaseosa, mediante procesos químicos, físicos y biológicos. Es un recurso natural de vital importancia, que no es renovable, en la escala del tiempo humana (Doran y Parkin, 1994).

En términos generales el suelo, está constituido por tres fases: sólida, líquida y gaseosa. El estado sólido es un sustrato mineral, que se origina al irse fragmentando las rocas que constituyen la corteza terrestre; este rompimiento es provocado por diversos factores físicos, químicos y biológicos que da como resultado partículas de diferente tamaño en las que destacan la arena, el limo y la arcilla. La fase líquida se la debe al agua, por lo que el suelo es una reserva importante de este recurso para las plantas terrestres y microorganismos, además es un medio purificador de este líquido. La fase gaseosa, está constituida por una gran variedad de gases. Los diversos tipos de suelo y algunas de sus propiedades particulares dependerán, de las proporciones en que se encuentren estas dos últimas fases, que por su naturaleza son muy variables. Los constituyentes inorgánicos del suelo juegan un papel importante en la retención de cationes y los compuestos orgánicos no polares. Todos estos se consideran como los componentes abióticos del suelo (Hoffmann, 1988; Doran y Parkin, 1994).

El otro componente de la fase sólida del suelo, al que le debe varias de sus propiedades físicas y químicas, es a la materia orgánica. Casi toda la materia de la que están constituidos los seres vivos, tarde o temprano va a parar al suelo, la cual al ser mineralizada por los seres edáficos, pasa a

constituir al humus. Por lo anterior, los suelos son una importante reserva de nutrimentos, para los ecosistemas terrestres, por lo que juegan un papel importante en completar el ciclo de la mayoría de los elementos que requieren los sistemas biológicos, descomponiendo los desechos orgánicos y eliminando ciertos compuestos tóxicos (Hoffmann, 1988; Doran y Parkin 1994).

Durante el proceso de formación del suelo se diferencian capas u horizontes del mismo, con características físicas, químicas y biológicas particulares, que en conjunto constituyen el perfil edáfico. Son varios los horizontes que conforman este perfil, pero hay tres principales, designados comúnmente como A, B y C (Figura 4).

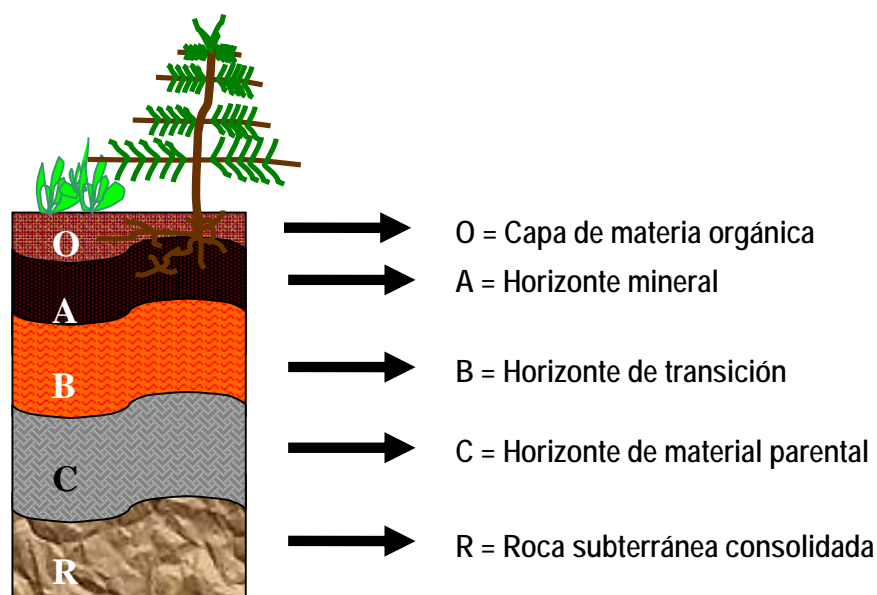


Figura 4. Perfil de un suelo y sus horizontes (Astudillo, 2006)

En la parte superior del suelo, se encuentra una capa de mantillo (designada como horizonte O), que todavía no se ha descompuesto. Debajo de esta se encuentra el horizonte A, rico en materia orgánica, que le da una tonalidad oscura al suelo; aquí es donde los restos de los que alguna vez fueron seres vivos son rápidamente desintegrados y mezclados con la fracción mineral, y se puede encontrar la materia orgánica en diversos grados de descomposición. Es un sitio de gran actividad biológica y en donde tiene lugar el crecimiento de las raíces. Sigue después el horizonte B, formado por el material acumulado que se deslava del horizonte A, como es la arcilla, óxidos de Hierro y humus. Hasta abajo se encuentra el horizonte C, constituido por el material parental.

Por lo anterior es claro que las propiedades de los diferentes tipos de suelos pueden ser muy distintas no sólo de un lugar a otro, sino a diferentes profundidades y su evolución estará también íntimamente relacionada con el tipo de vegetación que sostenga, el clima, la fisiografía, etc. Existen, además una serie de factores que determinan no solo las características del suelo, sino también la existencia y distribución de los organismos edáficos, como son: la porosidad, humedad, volumen de aire, estructura, pendiente, temperatura, pH, textura, cantidad y calidad de la materia orgánica, salinidad, etcétera (Hoffmann, 1988).

4.7 Propiedades Edáficas

La productividad de los suelos y su capacidad para sostener la vida, esta determinada, entre otras, por sus propiedades físicas, químicas, biológicas, bioquímicas y mineralógicas.

4.7.1 Propiedades físicas

El conocimiento de las propiedades físicas permite conocer las actividades agrícolas y forestales, como el laboreo, la fertilización, el drenaje, la irrigación, la conservación de suelos y el agua y el manejo de los residuos orgánicos. La física de suelos se encarga del estudio de grupos de factores y procesos físicos que tienen lugar dentro del suelo y en su superficie (Gavande, 1979).

a) Conductividad eléctrica

La medida de la conductividad eléctrica de las aguas naturales o de los extractos obtenidos de los suelos, permite establecer una estimación aproximadamente cuantitativa de la cantidad de sales que contienen (Cuadro 1). Dependerá del número, carga y movilidad de los iones presentes y del medio en el que estos se mueven (Jackson, 1982).

Cuadro 1. Categorías de CE en el suelo

CE dS m ⁻¹ a 25 °C	Clases
< 1.0	Salinidad despreciable
1.1 – 2.0	Muy ligeramente salino
2.1 – 4.0	Moderadamente salino
4.1 – 8.0	Suelo salino
8.1 – 16.0	Fuertemente salino
> 16.0	Muy fuertemente salino

Norma Oficial Mexicana, 1996.

b) Densidad

La densidad corresponde al peso por volumen de una sustancia. La densidad aparente (DA) es un método para expresar el peso de un suelo. En este caso se calcula el volumen total del suelo (espacio ocupado sólidos y los espacios de los poros juntamente). La densidad de volumen se define como la masa (o peso) de una unidad de volumen de suelo seco. Este volumen puede incluir desde luego, tanto los sólidos como los poros (Buckman y Brady, 1991).

Con la DA se puede calcular la capacidad de almacenamiento de agua por volumen de suelo y para evaluar las capas de suelo si están muy compactadas a fin de permitir la penetración de la raíz o los problemas de aireación. La densidad aparente para un bosque forestal es de 0.2 g cm^{-3} en algunas capas orgánicas hasta casi 1.9 g cm^{-3} en la arenas gruesas y en suelos agrícolas es de 1.1 a 1.4 g cm^{-3} y para un buen desarrollo de plantas debe ser menor en arcillas 1.4 g cm^{-3} y para arenas 1.6 g cm^{-3} .

La densidad real (DR) o de partícula, es la densidad solamente de la partícula del suelo; la medida no incluye el peso del agua o el espacio (aire) poroso, la mayoría de los suelos minerales varía entre los intervalos de 2.3 a 2.75 g cm^{-3} (Donahue *et al.*, 1981).

c) Espacio poroso

El espacio poroso (EP) en un suelo es la porción de volumen que no está ocupado por sólidos, sino, por agua o por aire. El EP influye directamente en la infiltración y la retención de agua, aireación, penetración radical, entre otros, la velocidad a la que se llevan a cabo estos procesos en el suelo, esta determinada por la cantidad y el tamaño de los poros del mismo (Foth y Turk, 1981; Honorato, 2000). La porosidad es importante ya que permite la provisión de agua y oxígeno, para el desarrollo de plantas y organismos edáficos.

La porosidad de la mayor partes de los suelo de los bosques forestales varía de 30 al 65% (Donahue *et al.*, 1981).

d) Textura

Los suelos naturales están constituidos por partículas de diferentes tamaños. La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las diversas partículas minerales, como la arena, limo y arcilla (Young, 1991). Esta propiedad ayuda a determinar no sólo la facilidad de abastecimiento de nutrimentos, sino también de agua y aire, tan importantes para la vida de las plantas. No puede alterarse, por lo que se le considera una propiedad fundamental del suelo que determina, en alto grado, su valor económico (Gavande, 1979).

e) Estructura

Se refiere a la forma en que las partículas están distribuidas en mezclas o grupos de materias. La estructura influye en el grado en que el agua y el aire penetran y se mueven en el suelo. Asimismo, afecta en cuanto a la penetración de la raíz y en la disponibilidad de los elementos nutritivos. La estructura del suelo favorece la formación de agregados individuales; reduce la agregación global del suelo; disminuye la plasticidad del mismo (Fassbender y Bornemisza 1987).

f) Agua del suelo

El agua es uno de los constituyentes más variables del suelo. Es retenida dentro de los poros con diferentes grados de intensidad, según la cantidad de agua presente, y junto con sus sales disueltas, forma la llamada solución del suelo. Además de servir a las necesidades metabólicas de la planta, el agua desempeña otras funciones en el suelo, como son ser disolvente y medio de transporte para los nutrimentos de las plantas, fuente de hidrógeno, moderador de la temperatura del suelo y de la aireación, así como de agente de disolución de sustancias tóxicas (Pritchett, 1991).

Distintos suelos poseen diferentes capacidades de retención de agua (Palmer y Truoch, 1980). La capacidad del suelo para retener el agua está influida por las fuerzas adhesivas y cohesivas relacionadas con la matriz del suelo y por la atracción de las moléculas de agua para iones producidos por sales solubles en el suelo. El agua disponible en el suelo es la porción que las plantas pueden absorber con facilidad (Young, 1991).

g) Aire del suelo

El aire del suelo difiere del de la atmósfera en varios aspectos. Ya que no es continuo, pues está localizado en el intrincado laberinto de poros, separados por los sólidos del suelo. La humedad de este aire es más alta que la de la atmósfera, siendo su humedad relativa próxima al 100% cuando es óptima. El contenido de anhídrido carbónico es generalmente más alto y el de oxígeno más bajo que los hallados en la atmósfera. Siendo una mezcla de gases, el aire se mueve dentro de los poros del suelo no ocupados por el agua. Cuando ha terminado de llover, los poros que primero se vacían del agua son los grandes y luego los medianos, a medida que el agua se reduce por evaporación y por el uso que hacen de ella las plantas.

4.7.2 Propiedades químicas

El suelo es un sistema formado por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y seres vivos, la compleja interacción de todos ellos produce una enorme cantidad de reacciones químicas. Las propiedades químicas del suelo son importantes ya que sirven para mejorar la disponibilidad de las sustancias nutritivas para las plantas y los seres edáficos, así como evitar las toxicidades de elementos y para mejorar las propiedades físicas del suelo.

La ciencia que estudia las propiedades químicas del suelo y sus componentes orgánicos e inorgánicos, así como los fenómenos a que da lugar la mezcla de estos, se define como química de suelos (Cepeda, 1991).

a) Reacción del suelo o pH

La reacción del suelo es un concepto que se refiere a las relaciones de acidez y basicidad del mismo; se trata de una propiedad que interviene tanto en sus características químicas como físicas, además de influir sobre la vida microbiana, la disponibilidad de fósforo, calcio, magnesio y elementos residuales, así como en la tasa de nitrificación (Fassbender y Bornemisza 1987). Con frecuencia sucede, en la práctica agrícola, que uno de los factores limitantes para obtener la cosecha máxima de los cultivos es el pH.

El pH se mide por lo general en una solución del suelo y agua, el valor es solamente la acidez activa en tal sistema, pero cabe señalar que en los suelos también existe una reserva de acidez intercambiable (o potencial). La suma de acidez activa o potencial da la acidez total de un suelo. La lectura del pH es por lo general mayor cuando se hace en una solución acuosa que en una solución salina y disminuye a medida que la concentración de sal aumenta, debido al mayor desplazamiento de los iones de hidrógeno y de aluminio a partir del complejo del intercambio. La mayor parte de los suelos forestales están en una escala de pH entre los 3.5 a 6.5 aproximadamente.

El pH del suelo depende de diversos factores: la estación del año, las prácticas de cultivo, el horizonte muestreado, el contenido hídrico en el momento del muestreo, la técnica para determinar el pH, incluyendo los factores que influyen en la formación del suelo. Los intervalos de pH más reconocidos con base en los valores que se encuentran en la mayoría de los suelos se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Categorías de pH en el suelo.

Clases	Intervalo	Clases	Intervalo
Extremadamente ácido	3.5 – 4.4	Fuertemente ácido	< 5.0
Muy fuertemente ácido	4.5 – 5.0		
Fuertemente ácido	5.1 – 5.5	Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Moderadamente ácido	5.6 – 6.0		
Ligeramente ácido	6.1 – 6.5	Neutro	6.6 – 7.3
Neutro	6.6 – 7.3		
Ligeramente alcalino	7.4 – 7.8	Medianamente alcalino	7.4 – 8.5
Moderadamente alcalino	7.9 – 8.4		
Fuertemente alcalino	8.5 – 9.0	Fuertemente alcalino	> 8.5

(USDA-NRCS, 1998).

Norma Oficial Mexicana, 1996.

b) Materia orgánica del suelo (MOS)

Es una acumulación de materia de plantas muertas, parcialmente descompuestas y residuos de animales y plantas resintetizados parcialmente. La hojarasca y las raíces secas se descomponen rápidamente y sus residuos forman parte del humus. Algunas porciones permanecen en los suelos durante mucho tiempo. Los residuos de cultivo, maleza, hierba, hojas de árboles, gusanos, bacterias, hongos y actinomicetes también forman parte de la mezcla compleja denominada MOS. Esta porción de materia orgánica es la fracción químicamente más activa del suelo. Dicha porción almacena varios elementos esenciales, estimula la estructura adecuada del suelo, es una fuente con capacidad de intercambio de cationes (CIC) y regula los cambios de pH, propicia también las relaciones convenientes entre el aire y el agua en los suelos y es un enorme depósito geoquímico de carbono (Bohn *et al.*, 1993).

c) Elementos esenciales

Las sustancias requeridas para el desarrollo de las plantas verdes son exclusivamente de origen mineral o inorgánico. Se define como elementos nutritivos a los elementos químicos integrantes de estos compuestos y más concretamente a aquellos elementos que son esenciales para el desarrollo completo del ciclo vegetativo (Domínguez, 1989). Los elementos nutritivos son esenciales en base al siguiente criterio:

La falta de este elemento impide a la planta completar su ciclo vegetativo.

La falta o deficiencia es exclusiva del elemento en cuestión y solo puede ser corregida suministrando dicho elemento y no otro.

El elemento esencial está relacionado directamente con la nutrición de la planta, por ser constituyente de alguna sustancia esencial, o por participar en funciones vitales de la planta.

Existen 16 elementos esenciales para el desarrollo de las plantas. Las plantas superiores obtienen la mayor parte del carbono y oxígeno directamente del aire, por fotosíntesis. El hidrógeno se deriva directamente, del agua del suelo. Todos los demás elementos esenciales (13 elementos) son obtenidos de los sólidos del suelo (Cruz, 2006).

De los trece elementos esenciales obtenidos del suelo por las plantas, seis son usados relativamente en grandes cantidades, y por consiguiente merecen nuestra atención primordial. Son: N, P, K, Ca, Mg, y S. Se designan con el nombre de macronutrientes porque las plantas los utilizan en grandes cantidades. El crecimiento de las plantas puede ser retardado por varias causas: porque haya escasez de ellos en el suelo, porque resulten asimilables demasiado lentamente, o porque no estén adecuadamente equilibrados por los otros elementos nutritivos. A veces pueden existir las tres limitaciones juntas.

4.8 Organismos del suelo

El suelo es el hogar de una gran cantidad y diversidad de formas de vida, que incluye a las bacterias, a los hongos, a los protozoarios, y virtualmente a todo el Phyla de invertebrados terrestres, como son: los turbelarios, nemertinos, nemátodos, rotíferos, anélidos, tardígrados, artrópodos y moluscos, así como algunos vertebrados (Hoffmann, 1988; Coleman *et al.*, 1999). Todo este diverso grupo de organismos forma una intrincada red alimenticia, que participa de manera importante en el flujo de energía y nutrientes del ecosistema, que depende de dicho suelo (Figura 5).

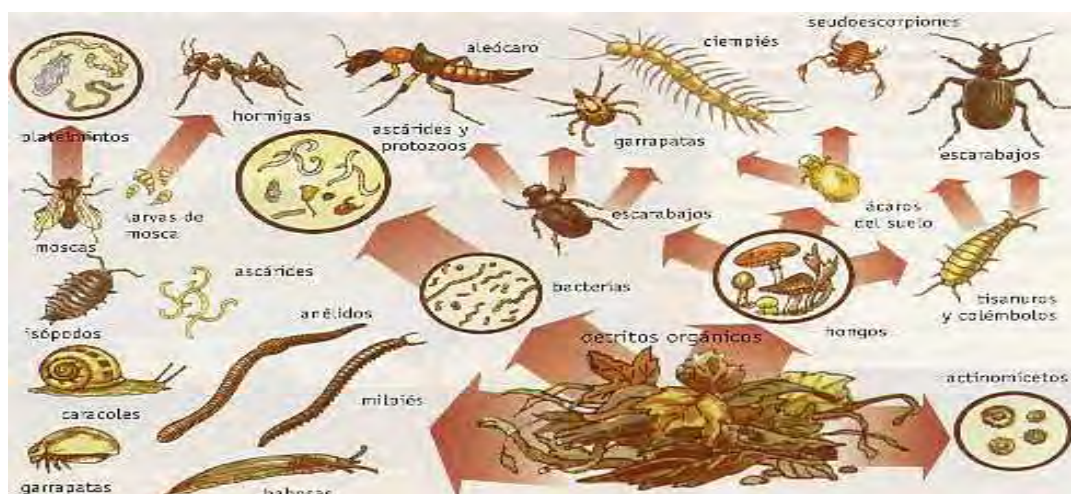


Figura 5. Que muestra diferentes formas de vida que habitan el suelo (www.raaa.org/Hecosan/mes.htm)

Al ser los habitantes del suelo tan numerosos y variados, que aparte del ordenamiento taxonómico, ha sido necesario hacer agrupaciones ecológicas de ellos, como son:

La parte del suelo que habitan:

- Los epiedafones son los organismos que viven en la superficie del suelo y corresponden a la zona epigea. Los hemiedafones son los que se encuentran en la primera capa del suelo, abundante en materia orgánica, llamada zona hemiedáfica. Generalmente ambos grupos de organismos se caracterizan, por poseer ojos bien desarrollados, largos apéndices, cuerpos bien quitinizados, y pigmentación marcada. Los euedafones, son los que existen en la capa profunda del suelo mineral, conocida como zona euedáfica. A diferencia de los anteriores grupos, a menudo estos pueden carecer de ojos y de pigmentos, poseen cuerpos blandos y pequeños apéndices (Hoffmann, 1988; Urbano y Rojo, 1992).

El tiempo de permanencia, del cual se distinguen dos categorías principales:

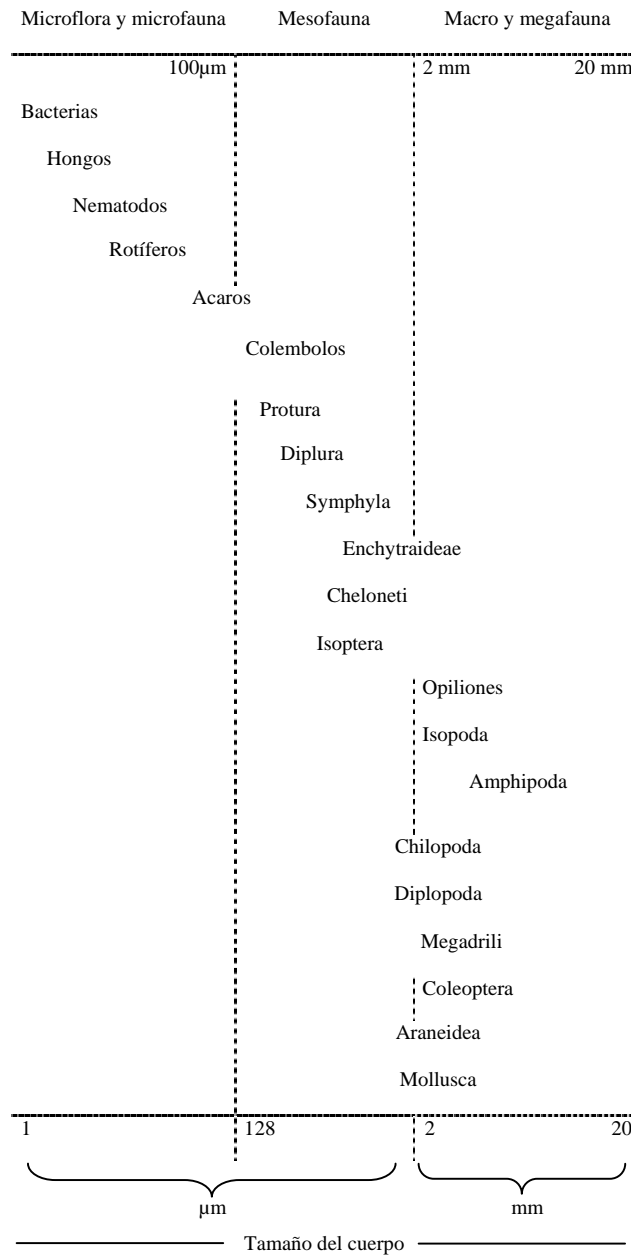
- Los geobiontes, son aquellos organismos que pasan toda su vida en el suelo, como los microorganismos, casi todos los microartrópodos y las lombrices.
- Los geofilos que, por el contrario, tan sólo pasan una parte de su ciclo de vida en el suelo, como algunos insectos y otras especies de ácaros (Hoffmann, 1988).

4.9 Tamaño de los habitantes del suelo

La fauna del suelo consiste de un grupo diverso de organismos, de distintos tamaños que van desde pocos micrómetros (bacterias), hasta varios centímetros en diámetro como los caracoles, o hasta un metro de longitud como las lombrices gigantes. En el Cuadro 3 se representa las relaciones de tamaño de los principales grupos taxonómicos de la microflora y fauna del suelo. La dimensión de la fauna edáfica es consecuencia de su modo de vida, especialmente su movilidad y estrategias de alimentación, todo esto determina como ellos influyen en los distintos procesos que se llevan a cabo en el suelo (Linden *et al.*, 1994; Coleman *et al.*, 1999).

Por lo anterior la extensión del cuerpo de la fauna, esta relacionado con los microhábitats, que ocupa en el suelo. La microfauna comprende organismos <100 micras, y entre los cuales se encuentran protozoarios, rotíferos y nematodos, son organismos esencialmente acuáticos, los cuales se encuentran en la fina capa de humedad que rodea las partículas de suelo. Debido a su pequeño tamaño, su habilidad para modificar el suelo directamente es limitada.

Cuadro 3. Clasificación de los organismos edáficos con base al tamaño de su cuerpo (Tomado de Smith *et al.*, 1979 citados en Linden *et al.*, 1994).



La mesofauna, comprende animales de 100 a 2000 micras, los cuales consisten en ácaros, colémbolos, pequeños insectos, arañas, y algunos oligoquetos. Estos organismos poseen un gran número de estrategias y función dentro del ecosistema, existen organismos bacterívoros, fungívoros, omnívoros, herbívoros y depredadores, además de detritívoros, todos estos modos de vida, implican

la existencia de complejas cadenas tróficas, que influyen en la dinámica del suelo de manera importante.

La macrofauna, junto con la megafauna, se compone de organismos con una longitud >2000 micras, son los más conspicuos de todos los animales del suelo, y tienen un gran potencial para modificar las propiedades del suelo, estos organismos incluyen a los isópodos, centípedos, milípedos, insectos adultos y sus larvas, anélidos, gasterópodos, por parte de la macrofauna, y vertebrados de mayores dimensiones como los roedores, por parte de la megafauna (Linden *et al.*, 1994; Coleman *et al.*, 1999).

4.10 Función de la fauna edáfica

Los seres vivos en el suelo forman parte del mismo, modificándolo e influenciándose mutuamente. El suelo se forma a través de su vida, y la vida depende de las características específicas del suelo (Primavesi, 1982). La fauna edáfica participa en una serie de actividades importantes que ayudan a mantener la fertilidad del suelo.

La microfauna afecta al suelo indirectamente mediante sus interacciones con los microbios o bacterias. Dependiendo de la relación, esta actividad puede reducir o incrementar el número de microbios y la velocidad de los ciclos de la materia orgánica (Linden *et al.*, 1994).

La mesofauna es generalmente, definida por su papel ecológico de descomponedora, ya que juega un papel importante en la transformación de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes, y el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo. Gran parte de estos organismos se encuentran confinados a los macroporos del suelo o al interior de los residuos orgánicos, ahí donde crecen las poblaciones fúngicas. Se encuentran sobre todo en las capas superficiales del suelo, las más ricas en residuos orgánicos, pero también en las profundidades próximas a las raíces (Laroche *et al.*, 1998; Linden *et al.*, 1994).

La mesofauna influye en la descomposición de la materia orgánica, gracias a la fragmentación y la reestructuración física de la materia orgánica, por la masticación. Las bolitas fecales producidas por estos organismos, son responsables de la aglomeración individual de partículas, que forman agregados en el suelo. La fragmentación de la materia orgánica, por el hecho de tener una mayor superficie del sustrato, favorece la actividad bacteriana y así facilita una descomposición más avanzada de los residuos. También al cosechar continuamente los hongos de los residuos orgánicos, regulan las poblaciones fúngicas en el suelo. Además, dada su gran movilidad, aseguran una

diseminación del micelio, de las esporas fúngicas y de las bacterias, permitiendo así la infección más rápida de zonas donde las poblaciones de estos seres son bajas (Laroche *et al.*, 1998).

La macrofauna, contribuye a la modificación sustancial de la estructura del suelo, ya que cuando estos organismos se mueven en busca de alimento forman canales e intersticios (macroporos), que favorecen la aireación e infiltración de agua en el suelo. Al macerar y triturar los restos vegetales que ingieren, los excretan en formas más accesibles al ataque de los microorganismos; distribuyen estos residuos vegetales macerados, junto con microorganismos y esporas de hongos. Sus excretas componen al humus. Muchos de estos animales atacan tejidos vegetales recién muertos, y si por alguna razón se reduce el aporte de alimento adecuado, comienzan a atacar los tejidos vegetales correspondientes antes de que mueran, por lo que pueden llegar a convertirse en plagas (principalmente agrícolas). El efecto removedor de suelo por parte de esta fauna, a veces es muy considerable, roedores, lombrices, hormigas y termitas pueden, en conjunto colocar sobre la superficie cantidades apreciables de suelo de capas profundas. Algunos organismos de la mesofauna como la macrofauna, pueden ser huésped intermediario de ciertos parásitos (Russell y Russell, 1968; Linden *et al.*, 1994). En el Cuadro 4 se muestran de manera general, las principales funciones de los organismos edáficos y su influencia en el suelo.

Cuadro 4. Influencia de los organismos edáficos en los procesos del suelo del ecosistema (Linden *et al.*, 1994).

	Ciclo de los Nutrientes	Estructura del suelo
Microflora	Cataboliza la materia orgánica. Mineraliza e inmoviliza nutrientes.	Produce compuestos orgánicos, que hace que los agregados se peguen. Las hifas enredan las partículas en los agregados.
Microfauna	Regula la población bacteriana y fungica. Altera el cambio en los nutrientes.	Puede que afecte la estructura de los agregados complementando las interacciones con la microflora.
Mesofauna	Regula las poblaciones fungicas y de la microfauna. Altera el cambio en los nutrientes. Fragmenta los residuos.	Produce pelotitas fecales. Crea bioporos. Promueve la humificación.
Macrofauna	Fragmenta los residuos. Estimula la actividad microbiana	Mezcla las partículas orgánicas y minerales. Redistribuye la materia orgánica y los microorganismos. Crea bioporos. Promueve la humificación. Produce pelotitas fecales.

4.11 Calidad de suelo

Históricamente la calidad del suelo se ha igualado con la productividad agrícola. En el pasado los suelos de buena calidad eran considerados como aquellos que permitían maximizar la producción y minimizar la erosión así como otros aspectos ambientales adversos. Los suelos con alta productividad eran considerados de alta capacidad sustentable, y consecuentemente de alta calidad (Etchevers *et al.*, 2000). Sin embargo el concepto de calidad de suelo se desarrolló en los años 90', del siglo pasado. En la actualidad es aceptado internacionalmente por la ciencia edafológica y tiene como base dos factores: 1) sus propiedades inherentes y dinámicas y, 2) La evaluación de los procesos físicos, químicos, biológicos y sus interacciones (Douglas *et al.*, 2003, citado por García 2003).

Los aspectos que se toman en cuenta dentro de la definición de calidad de un suelo, son:

- Productividad: Es la capacidad de un suelo para mantener la producción vegetal y biológica.
- Calidad ambiental: Es la habilidad del suelo para atenuar los efectos de contaminantes y patógenos en el ambiente.
- Y la relación que existe entre la calidad de un suelo y la salud de flora y fauna (Doran y Parkin, 1994).

La calidad del suelo es definida en gran parte por su función y representa la mezcla e interacción de las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. Por lo que Doran y Parkin (1994), definen la calidad del suelo como “la capacidad del mismo para funcionar dentro del ecosistema, sostener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover la salud de la flora, la fauna y del propio hombre”. Sin embargo es un concepto que ha ido evolucionando y Karlen *et al.*, 1997 definen la calidad de suelo como la capacidad de un suelo de funcionar dentro de los límites del ecosistema natural o manejado, sosteniendo la productividad de la flora y la fauna, manteniendo o mejorando la calidad del aire, el agua, la salud humana y el hábitat (Etchevers, *et al.*, 2000).

A diferencia del agua y del aire, que tienen estándares de calidad bien definidos y reglamentados de acuerdo al uso de estos recursos. El suelo dado su naturaleza más compleja, no cuenta con estándares establecidos y mucho menos reglamentos para mantener su calidad (Etchevers, *et al.*, 2000).

4.12 La fauna edáfica como indicadora de Calidad de suelo

Al hablar de calidad, se hace necesaria una evaluación de propiedades que la indiquen. Por lo cual la función del indicador es mostrar el estado de un determinado sistema. Así al evaluar de calidad de suelo, esta se puede realizar mediante el uso de indicadores, los cuales se agrupan en cuatro grandes grupos: físicos, químicos, biológicos y visuales (García, 2003).

De acuerdo con Doran y Parkin (1994) citado por García (2003), las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo para ser consideradas como indicadoras de su calidad deben cubrir una serie de requisitos:

1. Ser descriptoras de los procesos del ecosistema
2. Integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo
3. Reflejar los atributos de sustentabilidad que se quieren medir
4. Ser sensibles a variaciones de clima y manejo
5. Ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo
6. Su medición debe ser reproducible
7. Ser fáciles de entender
8. No ser demasiado caros
9. Obtenerse en periodos de tiempo corto
10. Sensibles para detectar cambios en el suelo como resultado de la degradación natural y antropogénica
11. Ser componentes de una base de datos del suelo ya existentes (de ser posible).

El impacto de las actividades humanas en los grupos de organismos naturales ha sido reconocido probablemente desde la antigüedad. Sin embargo, el tratamiento sistemático de las comunidades bióticas alteradas como indicadores de cambios ambientales data de comienzos del siglo XX (Linden *et al.*, 1994). De modo que un indicador biológico o bioindicador, es sensible a una determinada situación de estrés de origen antropogénico. El bioindicador puede ser un órgano, organismo o grupo de seres vivos, su calidad y cantidad determina el estado del ambiente. Por lo que los bioindicadores pueden avisar tempranamente de las perturbaciones que se están llevando a cabo en el ecosistema (Fränzle, 2006).

En muchos estudios que se hacen para conocer la calidad del suelo, comúnmente se utilizan algunas de sus propiedades físicas y químicas como indicadores, como son su erosionabilidad, el pH, el contenido de materia orgánica, la porosidad y estructura o la capacidad para soportar la vegetación, etcétera. Más recientemente se ha utilizado bioindicadores, como son la biomasa microbiana y respiración del suelo, mineralización del N, diversidad microbiana y otros parámetros más.

Aunque el manejo de todos estos indicadores es más económico en tiempo y en empleo de expertos, el uso de dichos no necesariamente indica, que el suelo tenga la capacidad para mantener las funciones esenciales que el ecosistema requiere (Andrés y Mateos, 2005).

La fauna edáfica, puede ser una herramienta apropiada para indicar el grado en que el suelo es afectado por las actividades humanas, ya que es sensible al disturbio de origen antropogénico, además al estar correlacionada con las funciones del suelo, puede ayudar a entender los distintos procesos que se llevan a cabo en el ecosistema (Andrés y Mateos, 2005). De modo que cambios en la conducta, bioquímica, morfología, fisiología, densidad, diversidad, crecimiento y reproducción de la fauna edáfica son medidas (Cuadro 5), que pueden ser utilizadas, para dar un buen diagnóstico de las perturbaciones que pudieran estar ocurriendo, el uso del parámetro más adecuado dependerá de las condiciones del sitio. Sin embargo es necesario que se muestre que tales cambios son debidos al disturbio en el medio y no a variaciones naturales (Linden *et al.*, 1994).

El uso de la riqueza de especies (biodiversidad) como indicador, requiere la cuantificación de especies, por lo que son necesarios conocimientos de taxonomía, además puede consumir una cantidad muy grande de tiempo y es a la vez costoso. Sin embargo es posible desarrollar una medida funcional de la diversidad por personas que no sean taxonomistas. En general la cuantificación de organismos del suelo no es inherentemente costosa y no se requiere equipo especializado (Doran y Zeiss, 2000).

Cuadro 5. Propiedades de la fauna edáfica usadas como indicadores de calidad de suelo (Linden et al., 1994).

-
1. Organismos y poblaciones
 - Individuos
 - Comportamiento, morfología y fisiología
 - Poblaciones
 - Número y biomasa
 - Medida de crecimiento, mortalidad y reproducción
 - Distribución de edades
 2. Comunidades
 - Grupos funcionales
 - Gremio (Comparaciones entre la fauna de las distintas capas de suelo).
 - Grupos Tróficos
 - Cadenas y redes alimenticias
 - Biodiversidad
 - Riqueza de especies, dominancia, uniformidad
 - Especies clave
 3. Procesos biológicos
 - Bioacumulación
 - Metales pesados y contaminantes orgánicos
 - Descomposición
 - Fragmentación de la materia orgánica
 - Mineralización de C y los nutrimentos
 - Modificación de la estructura del suelo
 - Madrigueras y formación de bioporos
 - Deposición fecal y agregación del suelo
 - Mezcla y redistribución de la materia orgánica
-

5. ANTECEDENTES

En los últimos años debido a graves problemas en los agroecosistemas, tales como erosión, salinización y desertificación, que ocasionan pérdidas en la productividad agrícola, lo cual repercute de manera negativa en las Áreas Naturales, ya que son destruidas para compensar esa pérdida. De modo que se ha hecho necesario hacer un uso sustentable del recurso suelo. Para monitorear el manejo, se han creado indicadores de la sustentabilidad, los cuales dado su sensibilidad, responden a cambios ambientales y reflejan como se ha ido utilizado el recurso. Los indicadores utilizados son de una gran variedad de tipos los hay físicos, químicos y biológicos. Los organismos del suelo, responde con sensibilidad a una gran variedad de cambios (Doran y Zeiss, 2000).

Arbea y Blasco-Zumeta (2001), hicieron una investigación sobre Colémbolos ibéricos, hallaron que estos organismos presentan poblaciones mayores en otoño e invierno, además encontraron que su diversidad y riqueza estaba muy relacionados con la cobertura vegetal de los biotopos en los que viven.

En el 2001 Jiménez *et al.*, realizaron una descripción de la mesofauna y su relación con los factores fisicoquímicos del suelo en los P. N. Izta-Popo y Zoquiapan, encontraron que la presencia de los organismos, depende de factores como el pH, % de Nitrógeno, materia orgánica del suelo, tipo de vegetación, y altitud. Encontraron que la mayor abundancia de organismos existe en sitios donde hay poca cantidad de materia orgánica y porcentaje de nitrógeno en el suelo.

Peredo *et al.* (2002), llevaron a cabo una investigación en un huerto de ciruelos, los resultados obtenidos indicaron que el uso de urea como fertilizante y glifosato como herbicida, como parte del manejo del huerto, afectaron la composición de la fauna edáfica, la densidad absoluta, la abundancia de individuos y la riqueza de los taxa, siendo los grupos más afectados los Acarina y Collembola.

Covarrubias (2004), llevo a cabo un estudio sobre fauna edáfica en un Bosque de hoja Caduca, encontrando que los organismos más abundantes tanto en cantidad como en diversidad, fueron los Colémbolos y Ácaros. El aumento y variación de las poblacionales de los organismos edáficos, se debía en mayor parte al aporte progresivo de materia orgánica fresca principalmente en el otoño.

Bernal (2006), hizo un estudio en una zona cafetalera y encontró que factores edáficos tales como el pH, contenido de Carbono y temperatura, son factores que afectan la abundancia y composición de los microartrópodos.

6. JUSTIFICACIÓN

A pesar de que la fauna edáfica representa una parte importante de los ecosistemas forestales, debido a su pequeño tamaño, a su elevado número y a que es laboriosa su extracción, no hay muchas investigaciones sobre estos organismos y aún menos información de los efectos de las principales propiedades del suelo en sus poblaciones. Por lo cual su uso como indicadores, permitirá saber como se encuentra el suelo respecto a su estado de conservación y de esta forma aprovechar a dicho recurso de una mejor manera. En México existen pocos estudios sobre la calidad del suelo y aun hay menos que relacionen la calidad del suelo con la fauna edáfica, por lo que el presente trabajo pretende contribuir a aportar información sobre los organismos de suelos forestales de los bosques y su relación con las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo.

7. HIPÓTESIS

En el entorno de las Áreas Naturales Protegidas a estudiar y en los suelos agrícolas adyacentes, las zonas con menor perturbación tienen mayor calidad de suelo y mayor densidad de fauna edáfica.

8. OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la densidad de la fauna edáfica, y sus relaciones con propiedades físicas y químicas del suelo que determinan su calidad en bosques templados de áreas naturales protegidas y zonas adyacentes con uso agrícola.

Objetivos Particulares

Determinar, en un gradiente altitudinal, la densidad de la fauna edáfica presente en el horizonte biológico en suelos bajo bosques de coníferas de algunas Áreas Naturales Protegidas ubicadas en zonas geográficas diferentes.

Determinar las relaciones entre parámetros físicos y químicos del suelo, con la distribución y densidad de la fauna edáfica en suelos forestales.

9. ZONAS DE ESTUDIO

9.1 Parque Nacional Iztaccíhuatl y Popocatepetl

Esta zona de estudio se encuentra en los estados de México (Municipios de Tlalmanalco, Amecameca, Atlautla, Ecatzingo) Puebla (San Salvador el Verde, Domingo Arenas, San Nicolás de los Ranchos, Tochimilco) y Morelos (Tétela del volcán), cuenta con una superficie aproximada de 25679 ha.

Se localiza geográficamente entre los meridianos de coordenadas 98° 35' y 98° 42' 40" de longitud oeste y entre los paralelos de 18° 59' y 19° 15' 30" de latitud norte.

a) Aspectos Físicos

Esta área natural se localiza sobre el Sistema Neovolcánico Transmexicano y la topografía del lugar comprende al "Iztaccíhuatl", con siete kilómetros de longitud, en la que se distinguen de Norte a Sur, tres alturas (la cabeza, con 5,146m de altura el pecho, con 5,286m y los pies, con 4,740 m) y el Popocatepetl, el cual es un estratovolcán y tiene la forma de un cono truncado hacia la cima. En cuanto al material geológico, está formado por una combinación de lavas, brechas, tobas y depósitos piroclásticos sin consolidar, basalto labradorítico, andesita de hiperstena y traquita.

Los tipos de suelos aflorantes en esta zona son el Regosol dístico, los Litosoles (Leptosol), el Andosol mólico y el Cambisol eútrico (García, 1999; Chávez y Trigo, 1996).

Los Andosoles, son suelos derivados de cenizas volcánicas y se han definido como suelos minerales que presentan un horizonte A de color entre pardo oscuro y negro, con un espesor promedio de 30 cm de estructura migajon fina o granular, con un contenido de MO de cerca del 8% en promedio y niveles superiores al 30% en los miembros más oscuros del grupo, texturas franco arenosa y pH moderadamente ácido. Algunos miembros del grupo tienen distintos horizontes B con más arcilla que los horizontes A, pero el miembro más joven es esencialmente un perfil AC. Se presentan en suelos húmedos a perhúmedos con temperaturas variadas. En condiciones naturales presentan vegetación diversa dependiendo del clima donde se desarrollen, puede ser de bosque templado húmedo a bosque tropical; en México son de amplia distribución a lo largo del eje Neovolcánico sosteniendo asociaciones vegetales de *Quercus*, *Pinus* y *Abies* (García, 2003).

Los Regosoles son suelos someros, desarrollados sobre material mineral no consolidado y presenta un perfil AC con horizonte único de diagnóstico ócrico. El concepto central de un Regosol se base en su profundidad, drenaje, textura media, suelo mineral no diferenciado que tiene expresiones mínimas del horizonte de diagnóstico. El material parental y el clima determinan la

morfología del Regosol. Son comunes en zonas áridas y en regiones montañosas. Se encuentran en asociación con Andosoles, Leptosoles, Calcisoles, Arenosoles y Cambisoles (García, 2003).

Con respecto a los cuerpos de agua, en la zona existen cuatro ríos (Amecameca, Molinos, Akal y Atila) y otros escurrimientos perennes menores.

b) Aspectos Biológicos

En el Estado de México la vegetación que se encuentra en el parque Izta-Popo esta compuesta por *Abies religiosa*, *Pinus hartwegii*, *P. pseudostrobus*, *P. rudis*, *P. teocote*, *P. leiophylla*, *Quercus laurina*; otras especies son: *Cornus disciflora*, *Garrya laurifolia*, *Ilex toluhana*, *Meliosa dentata*, *Oreopanax xalapensis*, y *Prunus brachybotrya*. Vegetación de zacatal: *Festuca tolucensis*, *F. livida*, *F. amplissima*, *Calamagrotis tolucensis*, *Muhlenbergia quadridentata*, *Trisetum spicatum*, *Agrostis tolucensis* y *Poa orizabensis*.

Para el Estado de Puebla existen *Pinus ayacahuite*, *Alnus mexicana*, bosques de oyamel, bosques de pino, bosques de pino-encino y zacatonal (Vargas, 1984; Chávez y Trigo, 1996).

Según el sistema de Koppen modificado por García, de los 3000-3590m, el Clima corresponde a ETHwig, es un clima frío, con la temperatura máxima del mes más caliente menor a 10°C, de los 3,190-2,240m el clima es C(w2) w big templado, con lluvias en verano, temperatura media del mes más frío entre -3°C y 18°C.

9.2 Parque Nacional Hacienda de Zoquiapan y Anexas

Está ubicado en los límites de los estados de México y Puebla, comprende parte de los municipios de Ixtapaluca, Chalco, Tlalmanalco, en el Estado de México, y de Tlahuapan en el Estado de Puebla.

Este parque se halla localizado en la región montañosa conocido como la Sierra Nevada, aproximadamente entre los paralelos 19°15'10" y 19° 25'45" de latitud norte, y entre los meridianos 99° 49' 28" y 99° 56' 58" de latitud oeste. Tiene una extensión de 19,418 ha. Totales de las cuales 16'101 ha. Se hallan en el Estado de México, y 3'317 en el Estado de Puebla, con un rango altitudinal de 3,000 a 4'120m (Vargas, 1997).

a) Aspectos físicos

El parque presenta un intervalo altitudinal que va de los 2,850 a los 4,150m. El material litológico está formado por andesitas, basaltos, dacitas, arenas y cenizas volcánicas, aunque predominan los dos primeros.

Respecto a los suelos, una gran parte corresponden a los llamados Andosoles mólicos, que se forman a partir de las cenizas volcánicas, aunque su evolución es diversa, según lo accidentado del terreno y de su acumulación; tienen buena aeración, buen drenaje, consistencia friable y ligeramente pegajosos y plástica, pH cercano a la neutralidad, buena disponibilidad de nutrientes, contenido de materia orgánica que disminuye con la profundidad, buena retención de humedad, ambiente favorable para microorganismos, buena disponibilidad de nitrógeno y baja concentración de fósforo en forma asimilable. Son de desarrollo pedogenético incipiente, con un adecuado nivel de fertilidad y con susceptibilidad a la erosión (Vargas, 1997).

En el extremo occidente del parque se ubican los denominados aluviales que forman lomeríos de topografía llana. En todo el parque existen también los valles intermontanos, que son áreas de acumulación de materiales acarreados fluvialmente.

Respecto a la hidrología cuenta con dos riachuelos el Río Frío y Aculco que permanecen activos a lo largo del año, incrementando su caudal de manera notable durante la temporada húmeda.

Presenta un tipo de clima C(W2) (w)big semifrío subhúmedo, con temperatura media anual de 5 a 12° C, con el mes más frío de -3 a 10° C (Vargas, 1997).

b) Aspectos biológicos

En cuanto a la vegetación, en sectores elevados que rebasan la cota de los 3,300m la comunidad de *Pinus hartwegii* se desarrolla en difíciles condiciones ambientales, soportando mínimas temperaturas, insolación prolongada, escasa humedad, incipiente formación del suelo y relieve accidentado. Bajo este marco ecológico la comunidad adquiere una fisonomía de aparente subdesarrollo, exhibiendo un dosel semiabierto, a veces ralo, con árboles de talla corta y ramificación deforme. Asimismo, los efectos del ambiente repercuten en la pobreza florística del sotobosque integrado por el dominio casi absoluto de gramíneas tipo amacollado *Festuca toluensis*, *Calmagrostis toluensis*, *Muhlenbergia macrorura*, *Agrostis spp*, *Eragrostis spp*, que enmascaran la presencia de otras plantas inferiores (Vargas, 1997).

En contraste, algunos sectores comprendidos entre los 2,900 y 3,300m, están sujetos a la influencia de un patrón altimétrico que determina condiciones ventajosas para el desarrollo exuberante de vegetación forestal, en virtud de que el ambiente se torna más húmedo, la

temperatura se incrementa, el suelo adquiere consistencia y profundidad y la morfología del relieve pierde vigor, este medio ecológico sostiene denso bosque integrado por la asociación arbórea de *Pinus hartwegii*, *P. montezumae*, *P. teocote*, *P. leiophylla*, *Cupressus spp.*, *Abies religiosa*, y en menor grado latifoliadas de los géneros *Quercus spp.*, *Alnus firmifolia* y *Arbutus xalapensis*. Mientras que regulados por el dosel arbóreo, los estratos inferiores poseen gran riqueza y diversidad florística en plantas herbáceas y arbustivas cuya estructura está dominada por especímenes de la familias *Compositae*, *Achillea spp.*, *Baccharis spp.*, *Cacalia sp.*, *Trisetum spp.*, *Labiatae* (*Salvia spp.*, *Lepichinia spp.*), *Leguminosae* (*Lupinus spp.*, *Desmodium spp.*) y muchas plantas más pertenecientes a otras familias.

En cuanto a la fauna silvestre destacan las siguientes especies: venado cola blanca (*Odocoileus virginianus mexicanus*), gato montés (*Lynx rufus escuinapae*), zorrillo (*Conepatus mesoleucus mesoleucus*), comadreja (*Mustela frenata perotae*), zorra (*Urocyon cinereoargenteus nigrirostris*), coyote (*Canis latrans cagotis*), diversos ratones, tuza (*Thomomy sumbrinus*), ardilla (*Sciurus aureogaster socialis*), teporingo (*Romerolagus diazi*), conejo mexicano (*Sylvilagus cunicularis cunicularis*), conejo castellano (*Sylvilagus floridans orizabae*), armadillo (*Dasybus novemcinctus*) (Vargas, 1997).

9.3 Parque Nacional Benito Juárez

Se encuentra en el Estado de Oaxaca en los municipios de San Pablo ETLA, San Agustín ETLA, San Andrés Huayapan. Según Vargas (1997) tiene una superficie de 2737 hectáreas.

Se ubica en las coordenadas geográficas de latitud norte 17 06' y 17 10' 05" y entre 96 40' y 96 44' 20" de longitud oeste.

a) Aspectos físicos

Tiene un intervalo altitudinal que va de 1,650 a 3,050m. Presenta dos tipos de climas: Semicálido subhúmedo, con isoterma de 18 a 30°C e isoyeta de 700 mm, Templado subhúmedo en intervalos de altitud mayor (Vargas, 1997).

Los ríos principales que cruzan el parque son Huayapan y San Felipe, que se enriquecen de varios arroyos de la zona y que en la actualidad aún son permanentes, pero cuentan con muy poco agua.

b) Aspectos biológicos

En el parque se encuentran varios tipos de vegetación: Bosque de pino y encino en las partes altas de la serranía, con *Pinus michoacana*, *P. oocarpa*, *P. teocote*, *P. montezumae*, *Quercus*, *Arbutus* y *Alnus*. Mientras que en las faldas se encuentran matorrales de encino, y en las cañadas existe selva baja caducifolia (Vargas, 1997).

Es necesario señalar que a pesar de que el bosque de pino-encino del parque es de crecimiento secundario, conserva áreas no muy perturbadas.

En cuanto a la fauna silvestre, en este parque aún se pueden observar diversos géneros de aves y mamíferos, como conejos, ardillas, calandrias y chinitos, estos últimos representando poblaciones relictuales de buen tamaño; sin embargo, la cacería que se realiza en zonas muy cercanas a los límites del parque, han disminuido notablemente la fauna silvestre, sin contar las pérdidas por modificaciones del hábitat, incendios y sequía.

9.4 Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán

Se encuentra al sureste de Jalisco y norte de Colima. Comprende los municipios de Autlán, Casimiro Castillo, Cuautitlán, Tolimán y Tuxcacuesco en Jalisco, y Comalá y Minatitlán en Colima.

La Reserva se ubica en las coordenadas 19° 21', 19° 43' latitud norte y 103° 49', 104° 29' longitud oeste. Tiene una superficie de 139,577 ha. La sierra se localiza en un área de transición biogeográfica de gran amplitud altitudinal y variaciones climáticas, que comprende una sección de la Sierra Madre del Sur cerca de su confluencia con el Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre Occidental. Es representativa de las condiciones ecológicas de las montañas de México (INE, 2000).

a) Aspectos físicos

La Sierra de Manantlán presenta un relieve complejo y accidentado. Se divide en dos grandes unidades fisiográficas: la porción occidental, que es la más extensa y con mayores altitudes, y la parte oriental, formada por el Cerro de En medio y Cerro Grande. En general el gradiente altitudinal va de los 400 a los 2,860m.

Se presentan dos grupos climáticos: A y C —cálidos y templados subhúmedos— y seis subgrupos climáticos: A, A(C), (A)Ca, (A)Cb, Ca y Cb. En términos generales, la temperatura media anual va de 16 a 22 °C, con excepción de la zona suroeste, en donde se presentan valores que llegan a los 26 °C. El mes más caliente corresponde a junio y el más frío a enero.

La mayor precipitación —superior a 1,700 mm— corresponde al suroeste de la Sierra (municipio de Cuautitlán). La zona seca se localiza al norte, dentro de los municipios de Autlán, Tolimán y Zapotitlán, con valores menores a 800 mm, disminuyendo hasta abajo de los 600 mm en los dos últimos municipios. El periodo de lluvias es de aproximadamente cuatro meses, de mediados de junio hasta principios de octubre, y el estiaje ocurre entre febrero y mayo.

Respecto a la hidrología, hay varios caudales tanto temporales como permanentes, entre los que destacan los ríos Ayuquila-Armería, Marabasco y Purificación.

La Reserva de Manantlán presenta una enorme complejidad geológica. La porción occidental está formada por rocas ígneas intrusivas (ácidas, intermedias y granito) en las laderas bajas hacia el sur y norte, y por rocas ígneas extrusivas (ácidas, intermedias, riolita, andesita, basalto, toba y brecha volcánica) en las partes altas, ocupando la mayor superficie. En los valles se encuentran materiales aluviales. En la porción oriental predominan las calizas con arenisca-conglomerado y suelos aluviales, producto de la erosión de las laderas de las montañas.

Los órdenes de suelos existentes son Litosoles, Regosoles, Fluvisoles, Rendzinas, Acrisoles, Gleysoles, Feozems, Luvisoles, Castañozems, Andosoles, Cambisoles, Chernozems y Vertisoles. Del total de suelos existentes, 66 % está cubierta por Litosoles y Regosoles, que son suelos someros, de poca fertilidad, textura arenosa y muy susceptible a la erosión. Los Cambisoles, que son suelos de desarrollo incipiente y coloración rojiza presentan 17.5 %. Los Andosoles cubren 5.4 %, concentrados en la meseta de Cerro Grande, con fuerte influencia del Volcán de Colima por la deposición de cenizas volcánicas. Los Fluvisoles, Gleysoles y Feozems que constituyen 5.1 % son los suelos dedicados a la actividad agrícola de riego y temporal con presencia de pendientes relativamente planas. Los Acrisoles y Luvisoles, suelos forestales, constituyen 4.2 % de la superficie y se encuentran principalmente en la parte central de la sierra.

b) Aspectos biológicos

La región presenta una biodiversidad muy rica, tanto en plantas como animales, esto es debido a la enorme complejidad de las condiciones físicas como son el clima, la topografía, la humedad, el tipo de suelo, entre otras. Por lo que se pueden encontrar en espacios relativamente cortos, comunidades vegetales de clima calido y bosques de clima templado-frío. A continuación se mencionan algunas de las asociaciones vegetales de la Sierra de Manantlán (INE, 2000).

Bosques Húmedos Montano Altos. Estos bosques se encuentran a altitudes mayores de 2500 m, en la parte central de la Sierra, y está caracterizada por la dominancia de coníferas de los géneros *Pinus* y *Abies* con mezcla de *Quercus*. Las especies del género *Abies* no forman, en el área de estudio,

rodales puros y extensos como en el Eje Neovolcánico, sino que son componentes del bosque codominantes o simplemente presentes con los pinos y encinos. La asociación de *Abies religiosa-Pinus pseudostrobus-Quercus laurina* es la vegetación característica de los sitios altos de la Sierra en la parte central. Se encuentran también *Cupressus lusitanica* y *P. duranguensis*.

Bosque Húmedo Montano Bajo. Bosque de Pinus-Quercus se encuentra entre los 1,500 y 2,500 m de altitud, correspondiendo al piso montano bajo y a la provincia húmeda. Los géneros dominantes en estos bosques son *Pinus* (60-90% de la cobertura de copas) y *Quercus* (10-40% de la cobertura de copas). Se encuentra *P. douglasiana* como la especie dominante, apareciendo con ella *Quercus praineana*, *Q. scitophylla*, *Arbutus xalapensis* y *P. herrerae*, y en sitios relativamente más cálidos o secos (por su exposición o posición topográfica) *P. oocarpa*.

c) Diversidad biológica

La variada y compleja cubierta vegetal de la Sierra de Manantlán alberga una gran riqueza florística. Su flora vascular está compuesta por más de 2900 especies pertenecientes a 981 géneros y 181 familias, que representan alrededor del 35-40% de la flora vascular del estado de Jalisco y aproximadamente el 10% de la de México. En hongos se han reportado 32 familias, 44 géneros y alrededor de 200 especies.

La fauna silvestre es uno de los componentes importantes de la alta diversidad biológica de la Sierra de Manantlán. En especies de mamíferos se tienen reportadas hasta la fecha 110 especies pertenecientes a 21 familias. Esto representa el 64% de las especies en el estado de Jalisco y el 25% de las especies de mamíferos mexicanos. El 21% de las especies de mamíferos de la Reserva son endémicas de México. Destaca la presencia de dos subespecies endémicas: el ratón *Microtus mexicanus neveriae* y la tuza *Cratogeomys gymnurus russelli*. Por lo menos 10 especies están en peligro de extinción o sus poblaciones se encuentran amenazadas: la nutria (*Lutra longicaudis*), el tigrillo (*Leopardus wiedii*), el leoncillo (*Herpailurus yagoroundi*), el ocelote (*Leopardus pardalis*), el puma (*Puma concolor*), el lince rojo (*Lynx rufus*), el jaguar (*Panthera onca*), la musaraña (*Megasorex gigas*) y cuatro especies de murciélagos nectarívoros (*Leptonycteris nivalis*, *L. curasoae*, *Musonycteris harrisoni* y *Choeronycteris mexicana*).

De las aves se tienen reportadas 336 especies de aves, pertenecientes a 44 familias, lo cual representa el 70% de las especies de aves terrestres en el estado de Jalisco y el 36% de las especies terrestres en la República Mexicana. La comunidad de aves de la Reserva incluye 36 especies endémicas de México. Se consideran como especies en peligro de extinción al choncho o cojolite

(*Penelope purpurascens*), la guacamaya verde (*Ara militaris*), el perico guayabero (*Amazona finschi*) y el águila real (*Aquila chrysaetos*), símbolo nacional de México.

Reptiles y anfibios. Se tienen reportadas hasta la fecha 85 especies de reptiles y anfibios pertenecientes a 15 familias. Existen 13 especies endémicas para la región occidente y centro de México: la serpiente de cascabel (*Crotalus basiliscus*), el garrobo o iguana negra (*Ctenosaura pectinata*), y la rana (*Shyrrhopus modestus*). En la Reserva se encuentran 4 especies consideradas amenazadas o en peligro de extinción: *Boa constrictor*, *Crotalus lannomi* (endémica), *Ctenosaura pectinata* y *Heloderma horridum*.

Peces. Se tienen reportadas hasta la fecha 16 especies de peces pertenecientes a 8 familias. Trece especies son nativas y cuatro de éstas son endémicas a la región.

Los Artrópodos. Hasta el momento se han reportados 31 órdenes y 238 familias de insectos, 7 órdenes de arácnidos y 9 géneros de crustáceos. Aunque estos grupos han sido poco estudiados, en la Sierra de Manantlán se han encontrado unas 30 especies de insectos nuevas para la ciencia. Los crustáceos son utilizados como alimento.

9.5 Subprovincia Mil Cumbres

Se localiza entre los estados de México y Michoacán. Se encuentra comprendida dentro de los municipios de Temascalcingo, San Felipe del Progreso, Donato Guerra y Villa de Allende en el Estado de México, y Contepec, Senguio, Anganguero, Ocampo, Zitácuaro, y Aporo en el Estado de Michoacán.

Sus coordenadas geográficas extremas son: para Altamirano 19° 59' 42'' y 19° 57' 07'' latitud norte y 100° 09' 54''; y 100° 06' 39'' longitud oeste y para el corredor Chincua-Cerro Pelón son 19° 44' 27'' y 19° 18' 32'' latitud norte y 100° 22' 26'' y 100° 09' 07'' longitud oeste. Tiene una extensión de 56,259 hectáreas, divididas en 3 zonas núcleo y 2 zonas de amortiguamiento (INE, 2001).

a) Características Físicas

El área natural protegida pertenece a la Provincia Fisiográfica del *Eje Volcánico Transversal*, que marca el extremo sur de la *Altiplanicie Mexicana* y la separa de la *Depresión del Balsas*, posee un sistema montañoso discontinuo, intensamente disectado por fuertes procesos tectónicos, compuesto de un conjunto de sierras y lomeríos, 77 % de la superficie total, agrupadas en la porción centro-sur y separadas por pequeños valles intermontanos, 12 % y llanuras, 6 %. Las máximas

elevaciones de la región se encuentran ubicadas en su mayoría dentro de la zona de la Reserva de la Monarca. La altitud, varía de los 2400 a 3600 metros.

En general el área de la Reserva presenta una superposición de relieves originada por abundantes erupciones volcánico-basálticas que se derramaron por fisuras, fallas y chimeneas (INE, 2001). Topográficamente predominan las pendientes pronunciadas, más de la mitad de la región presenta desniveles mayores a los 15 grados, suelos medianamente desarrollados y erosión de ligera a fuerte.

La zona es una importante área de captación pluvial y recarga de acuíferos. Debido a las enormes masas forestales y a que los suelos que tienen una gran capacidad de infiltración del agua

La región presenta en general un clima Cw, templado subhúmedo con lluvias en verano, temperaturas medias anuales de 8° a 22° C, precipitaciones promedio desde 700 Hasta 1250 mm y temperaturas mínimas para el mes más frío de entre -3° y 18° C.

Por su parte, la formación de los suelos responde tanto a los intensos y acelerados procesos de descomposición de la abundante materia orgánica, como a la composición litológica de la zona que incluye andesitas, basaltos, riolitas, granitos, esquistos y tobas, lo que determina la presencia predominante de Andosoles, húmico y órtico y en menor extensión Acrisoles y Planosoles, Feozem, Litosoles, Luvisoles y en menor proporción Cambisol, Regosol y Vertisol, todos ellos derivados de cenizas volcánicas, muy ligeros y con alta capacidad de retención de agua y en especial los Andosoles cuando se encuentran en pendientes mayores de 10 grados son más apropiados para el cultivo silvícola que para la agricultura y el pastoreo.

b) Aspectos biológicos

Bosque de *Abies*: Se distribuye desde los 2400 hasta 3600m. Esta comunidad es la más representativa de la zona núcleo, ocupa importantes extensiones del *subsistema montañoso* y las partes altas de los *aparatos volcánicos*, se caracteriza por la predominancia de *Abies religiosa* y constituye el hábitat característico de la mariposa monarca. En las áreas perturbadas, principalmente en las laderas, se desarrolla un estrato arbóreo inferior con presencia de especies como *Quercus*, *Alnus*, *Arbutus*, *Salix* y *Prunus*, entre otros. El estrato arbustivo y el herbáceo se encuentran representados por los géneros *Juniperus*, *Senecio*, *Eupatorium*, *Stevia* y *Archibaccharis*. El estrato rasante está dominado por musgos como *Thuidium* y *Minium* y hongos basidiomicetos en las épocas de lluvias (INE, 2001).

El *Bosque de Pino y Oyamel*, se localiza en una franja altitudinal entre los 2400 y 3000m, pero su distribución horizontal se extiende por casi toda la región y su diversidad florística es muy

amplia, a tal grado que está conformado por cuatro estratos bien diferenciados. El primero constituido por *Abies religiosa* y especies del género *Pinus*; el segundo por especies como *Arbutus grandulosa*, *Salix paradoxa*, *Alnus firmifolia* y *Quercus spp.*, en el estrato herbáceo destacan especies como *Senecio prenanthoides*, *S. tolucanus*, *S. sanguisorbae*, *Acaena elongata*, *Oxalis sp.* *Geranium sp.* *Satureja macrostema*, *Salvia elegans* y *Asplenium monanthes*, en el cuarto estrato se presentan diversas especies de musgo, así como *Viola sp.* *Sibthorpia pichinchensis*, *Oenothera sp.* Y *Oxalis spp.* Entre los hongos se tienen reportados *Amanita muscaria*, *Lactarius sanguifluis*, *Russula brevipes*, *Lycoperdon spp.* *Gomphus spp.* *Ramaria sp.* *Clavariadelphus truncatus*, *Morchella spp.* *Helvella crispa* y *Boletus sp.*, algunos de ellos de importancia para las economías domésticas de autoconsumo.

El *Bosque de Pino*, se presenta en manchones aislados, la mayor parte de ellos se desarrollan a altitudes entre 1500 y 3000m, asociados a los sitios más húmedos o en declives fuertes, como es el caso de las cañadas, por debajo de los 2000m., en el primer caso predomina el *Pinus pseudostrobus*, en suelos más someros o en condiciones secas se da lugar a asociaciones de *Pinus rudis* y *Pinus teocote*, así como *Pinus oocarpa* y *Pinus michoacana* en las partes medias y bajas más escarpadas.

La región posee una gran diversidad de especies de fauna silvestre. Al localizarse dentro del eje neovolcánico, área donde confluyen dos grandes regiones biogeográficas, la Neártica y la Neotropical, se tienen especies representativas de ambas regiones (INE, 2001).

Se han reportado para la Reserva 198 especies de vertebrados, de las cuales sólo se han reportado cuatro de anfibios que corresponden a ajolotes *Ambystoma ordinarium*, ranas *Hyla lafrentzi* y salamandras *Pseudoeurycea belli* y *P. Robertsi*. Seis reptiles, *Sceloporus aeneus*, *Storeria stererioides* y *Crotalus triseriatus*.

Con respecto al grupo de las aves se han reportado 132 especies, entre las que destacan algunas rapaces como *Accipiter striatus*, *Buteo jamaicensis*, *Falco sparverius*; colibríes *Colibrí thalassinus*, *Hylocharis leucotis*, *Cathartes aura*, *Caprimulgus vociferus*, *Picoides villosus*, *Sialia mexicana*, *Troglodytes brunneicollis*, *Myoborus miniatus*, *Myadestes occidentalis*, *Wylsonia pusilla*, *Regulus calendula*.

Los mamíferos reportados en la Reserva suman 56 especies, entre ellos *Didelphys virginiana*, *Sorex saussurei*, *Pteronotus parnelli*, *Glossophaga mexicana*, *Sylvilagus floridanus*, *Dasyopus novencinctus*, *Sciurus aureogaster*, *Peromyscus aztecus*, *Reithrodontomys chrysopsis*, *Microtus mexicanus*, *Canis latrans*, *Mephitis macroura*, *Lynx rufus* y *Odocoileus virginianus* (INE, 2001).

10. MATERIALES Y MÉTODOS

10.1 Delimitación del área de estudio

Se realizaron visitas a bosques templados (Figura 6), de los Parques Nacionales Izta-Popo, en el Estado de México y Puebla; Hacienda Zoquiapan y Anexas, en el Estado de México; Benito Juárez, en el estado de Oaxaca, la Reserva de la Biosfera “Sierra de “Manantlan” en la que se encuentra la estación “Las Joyas” ubicada al sur de Jalisco y al norte de Colima y la Subprovincia de Mil Cumbres, ubicada en Michoacán y el Estado de México.

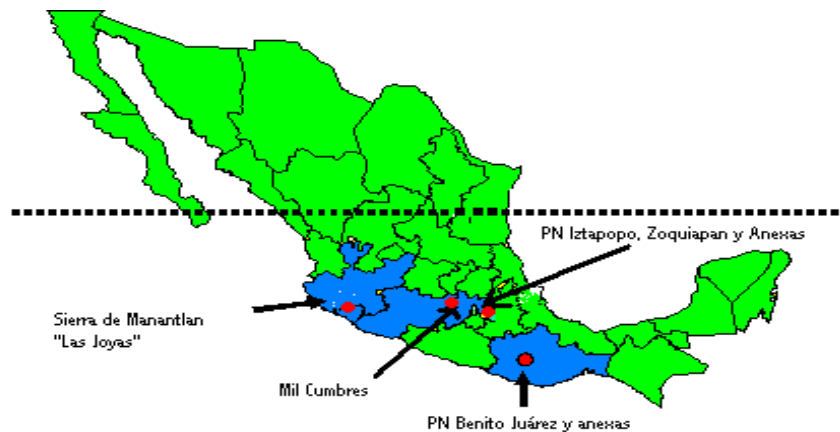


Figura 6. Localización aproximada de las zonas de estudio

Siguiendo gradientes altitudinales se seleccionaron, de manera sistemática y aleatoria, distintos sitios como unidades ambientales (faceta) representativos de cada área con homogeneidad en tipo de vegetación y geformas, con bosque de coníferas o bosque de coníferas y encinos, así como las zonas de cultivo más cercanas a dicho lugar (Figura 7 y 8). En cada unidad ambiental se delimitaron cuadrantes de 50×20 m y se hizo la determinación de la pendiente y exposición mediante una brújula con clicímetro, mientras que la altitud, latitud y longitud se determinó con un GPS marca GARMIN, en metros y coordenadas UTM.



Figura 7. Donde se observa un bosque de *Pinus sp.*



Figura 8. De un campo agrícola aledaño a un bosque

10.2 Toma de muestras

Para la determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo, se tomaron cuatro cuadrantes de 25×25 cm y de cada uno de ellos se colectó una submuestra con una pala recta a una profundidad de 0-20 cm (Figura 10) de aproximadamente 1 Kg cada una, las cuales fueron mezcladas y homogenizadas para obtener muestras compuestas, que fueron etiquetadas y trasladadas en bolsas de plástico al laboratorio para su análisis. La forma de la toma de las muestra se fundamenta en que el objetivo es caracterizar física y químicamente a los suelos en el horizonte de mayor actividad biológica y no para efectuar su clasificación (Jackson, 1982).

Para el estudio de las propiedades del suelo en la unidad ambiental se utilizó el “método del cilindro” para determinar la densidad aparente y el porcentaje de humedad del suelo (SARH, 1978).



Figura 9. Que muestra la introducción del cilindro en el suelo, para determinar el contenido de humedad.

Para la determinación de la densidad de la fauna edáfica, se manejaron cuadrantes de 25×25 cm donde la colecta de submuestras del suelo se hizo a una profundidad de 0-10 cm, dichas submuestras fueron mezcladas hasta homogeneizarlas y obtener una muestra compuesta que se transportó al laboratorio en una bolsa de plástico etiquetada (Figura 11).



Figura 10. Submuestra de suelo 0-20 cm.



Figura 11. Submuestra de suelo 0-10 cm

10.3 Pretratamiento de las muestras

Previo a la determinación de los análisis físicos y químicos, las muestras de suelo (0 a 20 cm de profundidad), se colocaron en charolas de plástico y dejaron secar al aire en un lugar ventilado. Una vez secas, se procedió a tamizarlas con una malla del número 10 (2mm) y se almacenaron en botes de plástico etiquetados, con los datos del sitio correspondiente.

Las muestras para la determinación de los parámetros biológicos (0 a 10 cm de profundidad), se conservaron en refrigeración, con la finalidad de reducir el metabolismo de la fauna edáfica, hasta su procesamiento en un embudo tipo Berlesse.

10.4 Análisis de laboratorio

Para la caracterización del suelo de las áreas estudiadas se realizaron los siguientes análisis:

a) Extracción de la fauna edáfica.

- Para la extracción de los organismos de la fauna edáfica, se utilizó una batería de 12 embudos tipo Berlese y con frascos de vidrio colocados debajo de cada embudo conteniendo alcohol al 70% para conservación de dichos organismos (Coleman *et al.*, 1999).
- Se pesaron 300g de suelo que fueron colocados en los embudos tipo Berlesse (Figura 12), y en su parte superior un foco de 25 watts, que encendido proporcionó luz y calor induciendo la migración de organismos hacia el fondo del embudo para recibirlos en los frascos con alcohol. La muestra de suelo se mantuvo en el embudo durante una semana. En total se hicieron cuatro repeticiones por muestra compuesta de cada sitio.

Los organismos se conservaron en alcohol etílico al 70%, en un recipiente de plástico como se muestra en la Figura 13.

Todos los organismos colectados en el embudo, se colocaron en una caja de petri y se observaron y contaron con ayuda de un estereoscopio (Figuras 14 y 15). Con ayuda de una clave para invertebrados del suelo, se identificaron los organismos (Massey University, 2006).

Cálculos para estimar la densidad de la fauna edáfica en un m² a una profundidad de 0-10cm:

$$\text{Volumen de en m}^3: (1\text{m}) (1\text{m}) = (1\text{m}^2) (0.1\text{m}) = 0.1\text{m}^3$$

Transformación de m^3 a cm^3 : $(0.1m^3) (1000000 cm^3/ 1m^3) = 100000 cm^3$

Peso de un m^2 de suelo en g: $(100000 cm^3)$ (**Densidad aparente medida con el cilindro** g/cm^3) = g

Peso del suelo en kg.: (g) $(1Kg/1000g)$ = kg

No. de organismos en un m^{-2} : $((kg) (No. de fauna extraída con el embudo)) / (kg de suelo muestreados)$

b) Propiedades físicas del suelo.

- Conductividad eléctrica del suelo relación 1:5 (Richards, 1990).
- Densidad aparente, método de la probeta (Domínguez y Aguilera, 1982).
- Densidad real, método del picnómetro (Domínguez y Aguilera, 1982)
- pH activo suelo-agua relación 1:2 por el método potenciométrico (Jackson, 1964).
- pH potencial en solución salina de KCl 1N en relación 1:2 (Jackson, 1964).
- Textura (Boyucos, 1963, citado por Palmer y Truoch, 1989).

c) Propiedades químicas del suelo.

- Cationes intercambiables (K^+ , Na^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2}) con acetato de amonio 1N pH 7.0 y cuantificado por espectroscopia de emisión y absorción atómica (Chapman y Pratt, 1979).
- Fósforo disponible, método de Bray y Kurtz (Bray y Kurtz, 1945).
- Materia orgánica (Walkley y Black, 1934, citados en Jackson, 1964).
- Porcentaje de Nitrógeno total por el método semimicro-kjeldahl (Bremmer, 1965).

A la información obtenida de los análisis químicos, físicos y biológicos, se les realizó un Análisis Estadístico de correlación y multivariado, así como uno de componentes principales, con ayuda del programa SAS (Statistical Analysis System).



Figura 12. Embudos tipo Berlesse



Figura 13. Recipientes con fauna edáfica

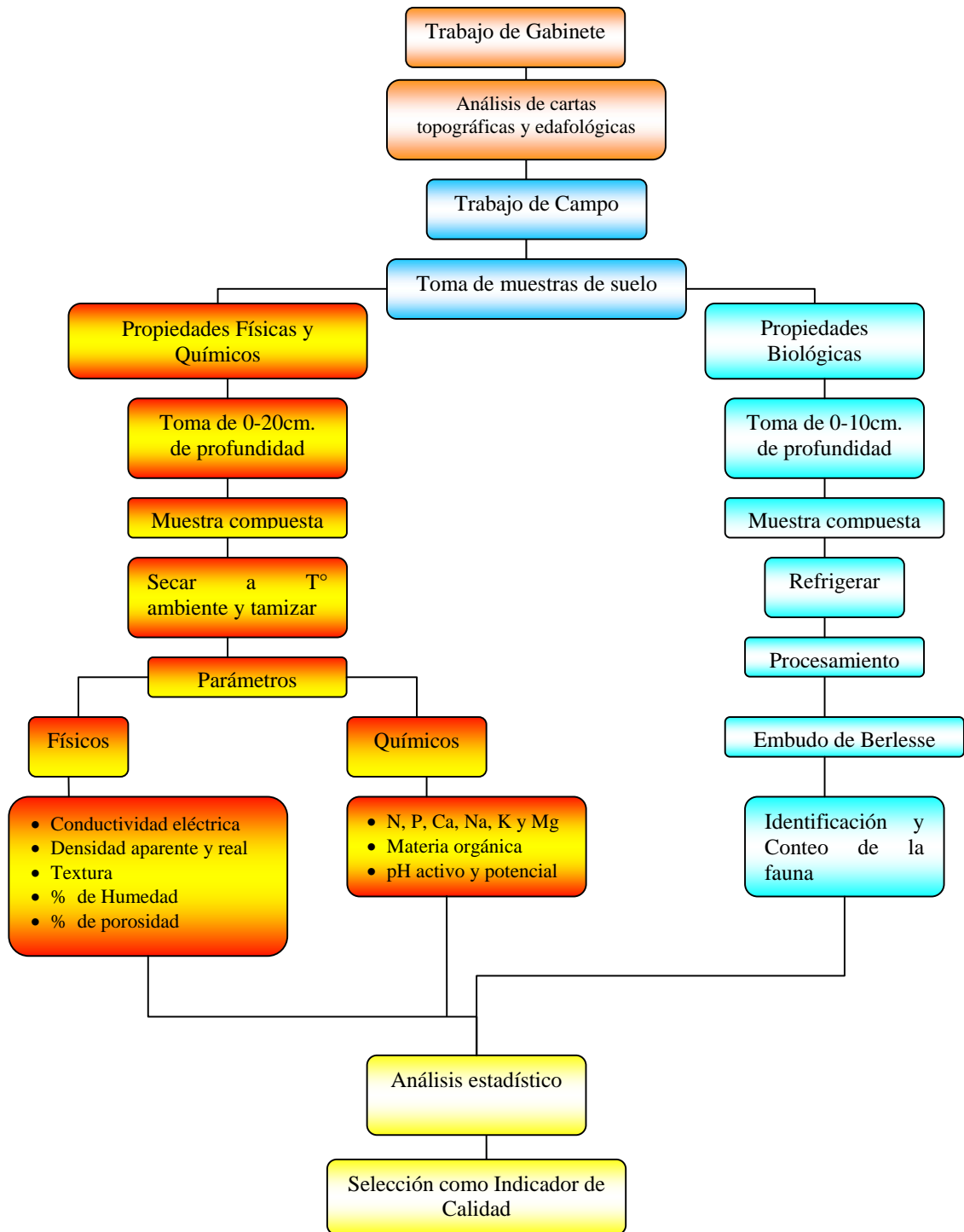


Figura 14. Observación de organismos edáficos



Figura 15. Imagen a 45X de tres ácaros.

10.5 Diagrama de Flujo Muestreo, recolecta y análisis de datos, de los sitios de estudio.



11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

11.1 Descripción general de las condiciones fisiográficas.

a) Parque Nacional Iztaccíhuatl - Popocatépetl.

El intervalo altitudinal en el que se trabajó en el Parque Nacional Izta-Popo estuvo entre 2486 y 3902 m en zonas con bosque templado de pino, oyamel y encino. Se estudiaron trece unidades ambientales, cinco de las cuales fueron campos con suelos agrícolas adyacentes a los citados bosques (Cuadro 6). La vegetación arbórea dominante fueron individuos de los géneros *Pinus* y *Abies*. En el caso de los pinos se encontraron a lo largo de todo el gradiente altitudinal, con predominancia de *Pinus hartwegii* a partir de 3450 m, mientras que *Abies religiosa* se encontró principalmente de 3000 metros hacia arriba principalmente en cañadas en lugares con mayor humedad ambiental a lo largo de casi todo el año. Arriba de los 3900 m, las duras condiciones climáticas (escasa humedad y bajas temperaturas) solo permiten la existencia de zacatonales. Las pendientes fueron desde menos de un 5% (en todos los campos agrícolas) hasta una 40% (en bosque).

Cuadro 6. Datos de campo de las unidades ambientales muestreadas en Izta-Popo.

Sitio	Latitud N	Longitud O	Altitud msnm	Exposición	Pendiente %	Asociación vegetal
Paso de Cortes	2111090	538525	3621	E	17.5	<i>Pinus hartwegii</i>
Santiago X.	2110290	543253	3232	NE	20	<i>Pinus sp.</i>
La Joya	2116219	536501	3902	N	40	<i>Pinus hartwegii</i>
Apatlaco	2112713	539300	3582	S	7	<i>Pinus hartwegii</i>
Carr. A Nexapa	2110985	533915	3444	S	31	<i>Pinus sp.</i> , <i>A. religiosa</i>
Sacromonte	2114572	523782	2486	--	--	<i>P. ayacahuite</i> , <i>Cupressus sp.</i>
Cañada la Calzada	2110371	533641	3306	--	--	<i>A. religiosa</i>
Camino a Santiago Xalizintla	2109544	545460	2973	--	--	<i>P. Pseudostrobus</i> , <i>P. ayacahuite</i>
Sacromonte 2	2114572	523782	2486	--	--	<i>Zea mays</i>
Tlachalony	2109251	530605	2859	--	--	<i>Zea mays</i>
Campo	2112072	525761	Nd	--	--	Cultivo de zanahorias
Capoltiopa	2109755	545988	2959	--	--	<i>Zea mays</i>
Capoltiopa 2	2109601	547632	2816	--	--	<i>Zea mays</i>

Debido a que el Eje Neovolcánico es de reciente formación, los suelos predominantes de esta región son Andosoles (suelos jóvenes formados de ceniza volcánica), y le siguen por los Regosoles y menos distribuidos los Cambisoles, que son suelos más desarrollados.

b) Parque Nacional Hacienda Zoquiapan y Anexas

En este Parque Nacional se trabajaron seis unidades ambientales, de las cuales cuatro se encontraron en Bosque y dos en campos agrícolas. El intervalo altitudinal estudiado estuvo entre 2719 y 3218 metros. Los sitios estudiados no exhibieron pendientes muy pronunciadas. Del mismo modo que en el PN Izta-Popo, la vegetación arbórea dominante estuvo representada por individuos de los géneros *Pinus* (Cuadro 7). También en Zoquiapan, se encontró a *Abies religiosa* en cañadas y en zonas con mayor humedad en comparación con especies el género *Pinus*, que fueron los árboles con mayor abundancia en estos bosques. En las zonas agrícolas, el maíz fue el más importante de los cultivos de la región.

Cuadro 7. Datos de campo de los sitios muestreados, en Zoquiapan.

Sitio	Latitud N	Longitud O	Altitud _msnm_	Asociación vegetal
Faldas del Tlaloc	2149216	524894	3068	<i>Abies religiosa</i>
Bosque reforestado	2151755	522195	2719	<i>Pinus sp.</i>
Cañada	2141222	524685	3218	<i>Abies religiosa, Pinus sp.</i>
Pastizal	2141309	522925	2897	<i>Pinus sp.</i>
Parcela 1	----	----	----	Cultivo de Maíz (<i>Zea mays</i>)
Parcela 2	2141421	521537	2682	Cultivo de Maíz (<i>Zea mays</i>)



Figura 16. Bosque de pino en Zoquiapan, ecosistema típico del eje neovolcánico.



Figura 17. Árbol joven de la especie, *Abies religiosa*.

c) Parque Nacional Benito Juárez y Anexas

Las unidades ambientales muestreadas en esta zona estuvieron entre los 1818 y 3215 m (Cuadro 8). La vegetación dominante a lo largo de los distintos gradientes altitudinales fue muy variable. Los sitios que se encontraron debajo de los 1800 m, la flora predominante fue de tipo xerófila, entre las que destacan diferentes especies de Cactáceas, Agaváceas y arbustos espinosos. De los 1800 a los 2100 m, la vegetación arbórea dominante son los encinos y los pinos (En el estrato arbóreo superior están los pinos y el inferior los encinos). Arriba de los 2400 m la vegetación arbórea dominante son los pinos y en aquellos lugares que presentan una elevada humedad ambiental existe la presencia de *Abies* y distintas especies de latifoliadas. En altitud mayor a los 3200m, domina únicamente el *Pinus hartwegii*.

La mayoría de los sitios visitados se caracterizaron por presentar pendientes pronunciadas entre 45 y 60%, suelos poco desarrollados y delgados, con abundante materia orgánica superficial, el material parental es derivado de rocas sedimentarias, a estos suelos se les conoce como Leptosoles. La mayor exposición fue norte y noroeste.

Cuadro 8. Datos de campo de los sitios muestreados, en el Parque Nacional Benito Juárez y Anexas

Sitio	Latitud	Longitud	Altitud	Exposición	Pendiente	Asociación vegetal
	N	O				
	msnm		%			
San Jerónimo Xola	1918646	707559	1818	---	50	<i>Pinus sp. Quercus sp.</i>
Carr. A Oax. 25 Km	1911918	714640	2003	N	60	<i>Pinus sp., Quercus sp.</i>
Camino de Oax.	1896519	753176	2114	N	60	<i>Pinus sp., Quercus sp.</i>
Camino a Ixtepeji	1897552	754441	2430	N	60	<i>Pinus sp., Quercus sp.</i>
Cumbre Antena	1900178	749490	3215	NO	45	<i>P. hartwegii</i>
Campamento	1901916	750783	3047	N	45	<i>Pinus sp. , Abies sp.</i>



Figura 18. En la que se muestra los contrastes del paisaje en Oaxaca, del lado izquierdo se observa un ambiente árido con escasa vegetación y del lado derecho un ambiente húmedo con un exuberante bosque de *Pinus hartwegii*.

d) Reserva de Biosfera Sierra de Manantlán

En esta área natural protegida, la mayoría de los sitios que se muestrearon estuvieron en la estación biológica “Las Joyas” ubicada en las cercanías de la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera en la Sierra de Manantlán y otro sitio ubicado en las faldas del Nevado de Colima. El intervalo de altitud estuvo comprendido entre 1952 y 2387 m (Cuadro 9).

En las faldas del Nevado de Colima, el estrato arbóreo estuvo constituido por los géneros *Pinus*, *Quercus* y en menor cantidad por *Abies*. Sobre el suelo había una abundante capa de mantillo, el material parental era derivado de ceniza volcánica.

La estación biológica de “Las Joyas”, es un área fuertemente protegida y con elevada humedad ambiental, dichas condiciones permiten la existencia de una vegetación exuberante y bien conservada. El estrato arbóreo esta conformado principalmente por *Pinus*, *Quercus*, y en menor cantidad de *Cupressus*, *Alnus* y *Abies*, y también es importante mencionar que sobre los árboles abundaron las epífitas (bromelias, orquídeas, opuntias aéreas, etc.), así como un tupido sotobosque.

Cuadro 9. Datos de campo de las unidades ambientales muestreadas, en la Estación Biológica “Las Joyas” ubicada en la Sierra de Manantlan.

Sitio	Latitud N	Longitud O	Altitud msnm	Exposición	Asociación vegetal
Nevado de Colima	-----	-----	-----	N	<i>Pinus sp.</i> , <i>Abies sp.</i>
Las Joyas 1	2163713	583006	2387	NE	<i>Pinus sp.</i>
Las Joyas 2	2163297	582497	2327	O	<i>Pinus sp.</i>
Las Joyas 3	2163303	582498	2326	E	<i>Pinus sp.</i>
Las Joyas 4	2162809	583012	2134	NE	<i>Pinus sp.</i>
Las Joyas 5	2165754	576104	1952	NE	<i>Pinus sp.</i> , <i>Abies sp.</i>

Se observó una similitud respecto al gradiente altitudinal con el Parque Nacional Benito Juárez en el que se encontraron los pinos en altitudes menores a 2000 m y con marcada diferencia con las zonas estudiadas en los Parques Nacionales Izta-Popo y Zoquiapan y Anexas donde los Pinos se encontraron en altitudes superiores a 2700 m.



Figura 19. Imágenes de la estación biológica de las Joyas

e) Subprovincia de Mil Cumbres

Las unidades ambientales estudiadas en esta zona se encontraron en los Estados de México y Michoacán, el gradiente altitudinal estuvo comprendido entre los 2420 y 3796 m (Cuadro 10). En la mayoría de los sitios de bosque el estrato arbóreo dominante fueron individuos del género *Pinus*. De los 2400 a los 2800 m, la vegetación encontrada fueron bosques de pino-encino, acompañados de *Cupressus* y *Alnus*. De los 2800 a los 3200m, dominaron los bosques de *Pinus* y *Abies*, la presencia tan extendida de este último género mencionado, es debida a la elevada humedad ambiental y a la precipitación presente en este lugar. De los 3500m en adelante, al igual que en los Parques Nacionales Izta-Popo y Zoquiapan y anexas, domino el *Pinus hartwegii* junto con el zacatonal alpino. La topografía mostró desde pendiente casi nula en la mayoría de campos de uso agrícola hasta de 45% en zonas con bosque.

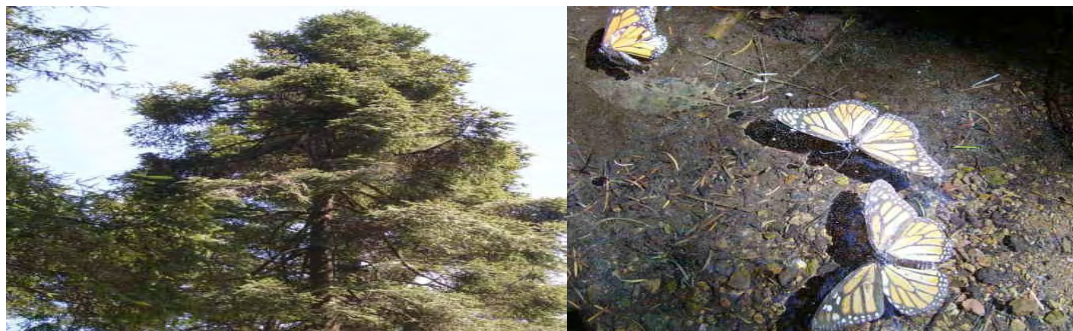


Figura 20. Del lado izq. un árbol de *A. religiosa*, especie dominante en las zonas frías y húmedas del eje neovolcánico. Del lado derecho se observa una mariposa monarca, organismo que llega a reproducirse en bosques de *Abies* de algunos lugares de Michoacán y el Edo. de México.

Cuadro 10. Datos de campo de las unidades ambientales en Mil cumbres.

Sitio	Latitud N	Longitud O	Altitud msnm	Exposición	Pendiente %	Asociación vegetal
Malinalco	2131180	460312	3166	N	15	<i>A. religiosa</i>
Nevado de Toluca	2116266	416962	3796	O	17	<i>P. hartwegii</i>
Carr. a Raíces	2115573	414275	3569	O	22.5	<i>P. hartwegii</i>
Carr. a Ocampo	2164892	361351	2549	NE	25	<i>Pinus sp., Cupressus sp.</i>
Mariposa monarca	2167228	367313	3230	E	15	<i>A. religiosa, Pinus sp.</i>
Lím. Edo. Méx.	2150027	374828	2855	E	45	<i>A. religiosa, Pinus sp., Cupressus sp.</i>
Sn. Cayetano	2141487	386764	2489	NE	12	<i>Pinus sp.</i>
Donato Guerra	2134527	382174	2544	S	10	<i>Pinus sp.</i>
Valle de Bravo	2119238	392926	2420	NO	30	<i>Pinus sp.</i>
Ajusco	2123523	470689	3526	N	17	<i>Pinus Hartwegii</i>
Ajusco 2	2123491	470940	3473	---	---	Gramíneas
Nevado de Toluca 2	2115961	416---	3749	O	24	<i>Pinus Hartwegii</i>
La Cumbre Bosque	2150559	367361	2527	O	10	<i>Pinus sp.</i>
Camino a "El Rosario"	2164885	361352	2545	NO	---	<i>Pinus sp., Cupressus sp.</i>
Raíces	2119693	415420	3471	---	---	Gramíneas
La Cumbre agrícola 1	2150559	367361	2527	O	---	<i>Zea mays, calabaza</i>
La Cumbre agrícola 2	2150627	367384	2509	O	---	Avena
La Cumbre agrícola 3	2150627	367384	2509	O	---	<i>Zea mays, aguacate</i>
"El Rosario"	2164653	366048	2805	O	---	<i>Avena, Zea mays</i>

11.2 FAUNA EDÁFICA

El suelo como se ha mencionado anteriormente, es un cuerpo natural de gran complejidad, con variaciones en profundidad, aireación, humedad, temperatura, pH, disponibilidad de nutrimentos, salinidad, entre otras que generan una elevada diversidad de microambientes, que influyen sobre el número, distribución y poblaciones de los seres edáficos. Aunado ha esto las poblaciones de la fauna edáfica, se ven influenciadas por las condiciones ambientales que cambian a lo largo del año que operan sobre el desarrollo de las plantas y por la cobertura que estas puedan ofrecer (Granados 2003; Bedano *et al.*, 2005).

En general los seres del suelo son los indicadores más sensibles a los disturbios o cambios que pudieran ocurrir en su entorno, por lo que algunas de sus propiedades podrían ser utilizadas como indicadoras de Calidad Edáfica, para suelos perturbados, contaminados, y de áreas naturales.

a) Parque Nacional Iztaccihuatl - Popocatepetl.

El muestreo de esta zona se llevo a cabo en Octubre de 2006. Se encontró que los grupos más abundantes de fauna edáfica fueron los Colémbolos y Ácaros, seguidos de los Coleópteros y Dípteros en su estado larval.

El sitio que tuvo la mayor densidad de fauna con 39029 organismos m⁻², fue la Cañada la calzada el cual corresponde a un bosque de Abies, mientras que el lugar que tuvo la menor densidad correspondió a un campo agrícola con 2550 organismos m⁻², Cuadro 11.

En general las unidades que presentaron mayor densidad de fauna edáfica, correspondieron a los lugares que tiene uso forestal, que se caracterizaron por tener abundante materia orgánica superficial y el suelo no estaba expuesto directamente a la radiación solar porque lo protegía la cobertura vegetal. Por otro lado la mayoría de los casos los sitios agrícolas presentaron las más bajas densidades de fauna edáfica <4500 organismos m⁻², los Colembolos fueron más abundantes que los Ácaros, a diferencia de los bosques el suelo de estos lugares es constantemente perturbado, tiene escasa materia orgánica superficial y recibe una importante cantidad de radiación solar.

La altitud parece afectar a la fauna ya que los sitios forestales, que se encontraron a mayor altitud tuvieron menor densidad de organismos. Las dos unidades que presentaron las mayores densidades se encontraron alrededor de los 3000m.

Cuadro 11. Número de organismos estimados en un metro cuadrado en el P. N. Iztaccíhuatl-Popocatepetl.

Sitio	Altitud	US	Tipo de Vegetación	Ácaros	Colémbola	Coleóptera	Díptera	Otros*	Total de Organismos
Paso de Cortes	3621	F	Bosque de Pino	2,550	992	354	283	354	4,533
Carr. Nexapa	3383	F	Bosque de Pino	5,242	1,417	1,623	180	180	8,642
Sacromonte	2486	F	Bosque de Pino	3,045	9,775	992	71	638	14,521
Cañada la Calzada	3306	F	Bosque de Abies	15,442	22,312	280	---	995	39,029
Camino a Santiago Xalizintla	2973	F	Bosque de Pino	9,137	9,067	734	587	734	20,258
Sacromonte 2	2486	A	Cultivo de maíz	496	2,550	283	71	779	4,179
Tlachalony	2859	A	Cultivo de maíz	1,062	496	425	71	1134	3,188
Campo	-----	A	Cultivo de zanahorias	---	1,700	142	71	638	2,550
Capoltiopa	2959	A	Cultivo de maíz	1,062	2,550	215	--	564	4,392

No. de organismos m⁻²: número de organismos en un metro cuadrado de suelo de 0 a 10cm.

* Otros: Se refiere a otros organismos edáficos diferentes a los mencionados en la tabla como anélidos, nematodos, isópteros, larvas de insectos, etc.

b) Parque Nacional Hacienda Zoquiapan y Anexas.

Esta área fue muestreada en Septiembre de 2006, encontrándose que los Ácaros fueron los organismos más abundantes, seguidos de los Colémbolos y en menor proporción las larvas de Coleópteros y Dípteros.

Los sitios que presentaron las mayores densidades de fauna edáfica >15000 organismos m⁻² (Cuadro 12), correspondieron a las unidades que se encontraron en bosques maduros de Abies sin gran perturbación, con una considerable cantidad de materia orgánica tanto superficial como internamente en el suelo, con abundante humedad, escasa radiación solar y al igual que en Izta-Popo se encontraron alrededor de los 3000m. Mientras que los sitios restantes que tuvieron densidades cercanas a los 1000 organismos m⁻², se caracterizaron por tener un menor contenido de materia orgánica superficial, una mayor incidencia de luz solar y perturbación.

Cuadro 12. Número de organismos estimados por metro cuadrado en Zoquiapan y anexas.

Sitio	US	Tipo de Vegetación	Altitud msnm	No. de organismos m ⁻²						Total de Organismos
				Ácaros	Colémbola	Coleóptera	Díptera	Otros*		
Faldas del Tlaloc	F	Bosque de <i>Abies</i>	3068	16,747	1,797	509	127	840	20,020	
Bosque reforestado	F	Bosque de pino	2719	834	64	---	---	64	963	
Cañada	F	Bosque de <i>Abies</i>	3218	10,330	4,171	384	256	1,091	16,234	
Pastizal	F	Bosque de Pino	2897	192	321	27	---	358	898	
Campo Agrícola 2	A	Cultivo de maíz	2682	376	100	50	25	476	1,027	

No. de organismos m⁻²: número de organismos en un metro cuadrado de suelo de 0 a 10cm.

* Otros: Se refiere a otros organismos edáficos diferentes a los mencionados en la tabla como anélidos, nematodos, isópteros, larvas de insectos, etc.

c) Parque Nacional Benito Juárez y Anexas.

En esta zona se llevo a cabo el muestreo en Abril de 2006, se encontró que los Ácaros fueron los organismos más abundantes y en menor proporción los Colémbolos.

Los valores obtenidos de la densidad de la fauna edáfica aparecen en el Cuadro 13, las densidades más bajas de organismos <650 organismos m⁻² pertenecen a los sitios que se encuentran a <2200 m, que son lugares que a pesar de que poseen abundante materia orgánica superficial y no muy alta incidencia de luz solar a nivel de suelo, presentan condiciones semiáridas, que se agudizan fuertemente por la temporada del año. Los sitios que tuvieron una densidad >1000 organismos m⁻², correspondieron a los sitios de mayor altitud y que tuvieron un nivel más elevado de humedad (>15%).

Cuadro 13. Número de organismos estimados en un metro cuadrado P. N. Benito Juárez y Anexas.

Sitio	Tipo de Vegetación	Altitud msnm	No. de organismos m ⁻²			Total de Organismos
			Ácaros	Colémbola		
San Jerónimo Xola	Bosque de Pino-Quercus	1818	104	---		104
Carr. A Oax. 25 Km	Bosque de Pino-Quercus	2003	415	---		415
Camino de Oax.	Bosque de Pino-Quercus	2114	623	---		623
Camino a Ixtepeji	Bosque de Pino	2430	3,527	415		3,943
Cumbre Antena	Bosque de Pino	3215	1,556	104		1,660
Campamento	Bosque de Abies	3047	1,764	311		2,075

No. de organismos m⁻²: número de organismos en un metro cuadrado de suelo de 0 a 10cm.

d) Reserva de Biosfera Sierra de Manantlán

La toma de muestras se llevo a cabo en Mayo de 2006, la fauna edáfica que se encontró en mayor proporción correspondió a los Ácaros y Colémbolos, aunque también se encontraron coleópteros, dípteros y otros organismos, pero su número fue bajo.

La densidad de la fauna edáfica que se determinó en esta zona aparece en el Cuadro 14, en el se indica que el lugar que tuvo la densidad más baja fue el sitio Las Joyas 3 con 1544 organismos m⁻², el cual es un rodal de pinos jóvenes, con baja materia orgánica superficial, un suelo compacto y presentaba una considerable incidencia de luz solar. Por otro lado el sitio Nevado de Colima, presentó la densidad más alta con poco más de 7000 organismos m⁻², dicho lugar es un bosque maduro con gran cobertura vegetal, en el que predominan géneros como *Pinus*, *Abies* y *Quercus*, y existe una abundante capa de mantillo de más >20cm de profundidad.

Cuadro 14. Número de organismos estimados por metro cuadrado la Sierra de Manantlán.

Sitio	Altitud	Tipo de Vegetación	Acáros	Colémbola	Coleóptera	Díptera	Otros*	Total de Organismos
msnm		No. de organismos m ⁻²						
Nevado de Colima	-----	Bosque de Pino- <i>Abies</i>	4,225	1,869	229	152	838	7,313
Las Joyas 1	2387	Bosque de Pino	1,381	894	244	39	692	3,250
Las Joyas 2	2327	Bosque de Pino	1,706	81	---	---	162	1,950
Las Joyas 3	2326	Bosque de Pino	894	325	83	---	249	1,544
Las Joyas 4	2134	Bosque de Pino	1,869	---	326	---	244	2,438
Las Joyas 5	1952	Bosque de <i>Abies</i>	1,909	447	41	---	284	2,681

org m⁻²: número de organismos en un metro cuadrado de suelo de 0 a 10cm de profundidad.

* Otros: Se refiere a organismos edáficos diferentes a los mencionados (anélidos, nematodos, isópteros, larvas de insectos, etc.).

e) Subprovincia Mil Cumbres

En esta zona se realizaron dos periodos de muestreo, el primero se realizó a finales de marzo de 2006 encontrándose que los organismos edáficos más abundantes fueron los Ácaros, seguidos de los Colémbolos, Coleópteros y Dípteros aunque estos organismos no se presentaron en todos los sitios. Los organismos edáficos encontrados en marzo de 2006 aparecen en el Cuadro 15, en el que se muestra que el sitio Carretera a Raíces presentó la mayor densidad de fauna edáfica con 15,975 organismos m⁻² el cual es un bosque de *Pinus hartwegii*, el que le siguió correspondió a bosque de *Abies* donde esta el Santuario de la Mariposa Monarca con 15,225 organismos m⁻² ambos lugares se caracterizaron por ser bosques maduros, tener un elevada cantidad de materia orgánica superficial y el suelo no estaba expuesto directamente a la radiación solar. Mientras que el sitio Nevado de Toluca fue el que presento la menor densidad con 525 organismos m⁻², esto tal vez se debió a que se encontró a mayor altitud y las condiciones climáticas son más inclementes, el rodal de *P. hartwegii* es joven y su cobertura no es amplia, lo que ocasiona una fuerte incidencia de luz solar al suelo, efecto que se intensifica con la escasa capa de mantillo superficial.

Cuadro 15. Número de organismos estimados en un metro cuadrado en el Área de Mil cumbres, en Marzo de 2006.

Sitio	US	Tipo de Vegetación	Altitud m	No. de organismos m ⁻²					Total de Organismos
				Acáros	Colémbola	Coleóptera	Díptera	Otros*	
Nevado de Toluca	F	Bosque de Pino	3798	300	---	---	---	225	525
Carr. a Raíces	F	Bosque de Pino	3569	11,625	4,050	---	---	300	15,975
Carr. a Ocampo	F	Bosque de Pino	2544	4,500	825	131	---	394	5,850
Mariposa monarca	F	Bosque de Abies	3230	12,825	2,100	150	---	150	15,225
Lím.Edo. de Méx.	F	Bosque de Pino-Abies	2855	2,850	---	---	---	441	3,300
Sn. Cayetano	F	Bosque de Pino	2489	2,400	975	150	75	450	4,050
Valle de Bravo	F	Bosque de Pino	2420	2,550	1,500	75	225	675	5,025

No. de organismos m⁻²: número de organismos en un metro cuadrado, de 0 a 10cm de profundidad.

* Otros: Se refiere organismos edáficos diferentes a los mencionados (anélidos, nematodos, isopteros, larvas de insectos, etc.).

El segundo muestreo se llevo a cabo en Noviembre de 2006, donde se encontró que a diferencia del periodo anterior los organismos más abundantes fueron los Colémbolos y no los Ácaros, se halló una mayor diversidad y cantidad de organismos entre los que destacaron las larvas de Coleópteros y Dípteros. La cantidad de fauna estimada para este periodo aparece en el Cuadro 16, la unidad ambiental con la más baja densidad de organismos estuvo en el Ajusco con 1,250 organismos m⁻², las unidades con las mayores cantidades correspondieron a “El Rosario” y al S. de la Mariposa Monarca con más de 14,500 organismos m⁻². Salvo dos sitios se observa una disminución generalizada de la fauna (en especial de los ácaros), tal vez debido al descenso de la temperatura y a variaciones poblacionales de los organismos.

Cuadro 16. Número de organismos estimados en un m² de suelo en el Área de Mil cumbres, en Noviembre de 2006.

Sitio	US	Tipo de Vegetación	Altitud	Acárina	Colémbola	Coleóptera	Díptera	Otros*	Total de Organismos
			m	No. de organismos m ⁻²					
Ajusco	F	Bosque de Pino	3526	586	478	62	15	108	1,250
Nevado de Toluca 2	F	Bosque de Pino	3749	1,000	2,200	---	150	450	3,800
La Cumbre Bosque	F	Bosque de Pino	2527	900	900	550	400	1300	4,050
Camino a "El Rosario"	F	Bosque de Pino	2545	850	300	400	800	550	2,900
Santuario M. Monarca	F	Bosque de Abies	3241	8,945	3,108	1364	218	873	14,509
Ajusco 2	A	Pastizal	3473	1,050	600	149	---	402	2,200
Comunidad Raíces	A	Pastizal	3471	650	600	---	10	190	1,450
La Cumbre c. agrícola 1	A	Cultivo de Maíz	2527	466	6,800	133	67	200	7,667
La Cumbre c. agrícola 2	A	Cultivo de Maíz	2509	450	3,100	300	200	150	4,200
La Cumbre c. agrícola 3	A	Cultivo de Maíz	2509	400	700	---	300	300	1,700
"El Rosario"	A	Cultivo de Maíz	2805	5,700	7,650	300	150	1000	14,800

No. de organismos m⁻²: número de organismos en un metro cuadrado, de 0 a 10cm de profundidad.

* Otros: Se refiere a organismos edáficos diferentes a los mencionados en la tabla como anélidos, nematodos, isópteros, larvas de insectos, etc.

De las 42 unidades ambientales ubicadas en las diferentes áreas naturales y zonas agrícolas cercanas muestreadas durante los meses de marzo a noviembre de 2006, se obtuvo un total de 13 taxas de orden superior de fauna edáfica. Se destacan de entre todos ellos (Figura 21) los grupos Acarina y Collembola por ser los más abundantes durante todos los meses del muestreo y que representaron más 75% de los organismos colectados, seguidos por los Coleópteros (adultos y larvas) y los Dípteros (larvas) en los meses posteriores a la época de lluvias.

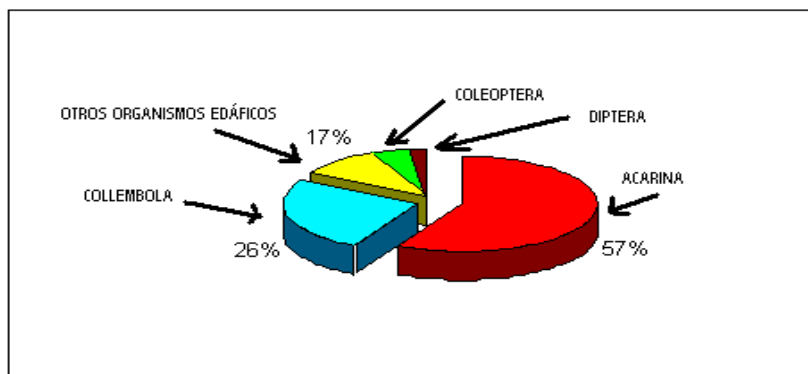


Figura 21. Proporciones de la fauna edáfica encontrada a lo largo del periodo de estudio.

Durante el periodo de muestreo se encontró, que dentro de las áreas de estudio los sitios que se hallaban en las partes más altas, generalmente presentaban una mayor densidad de fauna edáfica, debido a que en estas zonas la mayor parte del año existen condiciones favorables para estos organismos, como la humedad, bosques maduros que ofrecen una buena cobertura arborea que evita una alta incidencia de luz solar (con lo cual se disminuye la pérdida de humedad y se mantiene una temperatura más estable en el suelo), así como abundante materia orgánica y además dada su inaccesibilidad tienen un mejor estado de conservación. Por lo anterior y coincidiendo con otros autores como Primavesi, 1982; Bedano *et al.*, 2005, las mayores densidades de fauna se registraron en bosques y no en los agroecosistemas cercanos a ellos, y de los bosques, en los que se encontró el género *Abies* fueron de los que presentaron las más altas cantidades de organismos (Cuadro 17).

Cuadro 17. Número de organismos en las distintas asociaciones vegetales

Tipo de Vegetación	Altitud	Otros organismos edáficos	Densidad de Ácaros	Densidad de Colémbolos	Densidad de fauna edáfica
	m	No. de organismos m ²			
Bosque de <i>Abies</i>	3140	1,356	11,318	8,140	20,814
Bosque de Pino- <i>Abies</i>	3306	1,167	7,431	1,795	10,393
Bosque de Pino	2711	839	2,591	1,894	5,324
Campo agrícola	2844	824	1,260	2,674	4,758

El suelo de los campos agrícolas, constantemente esta sufriendo perturbaciones que modifican sus propiedades que afectan su calidad, tales como la utilización de agroquímicos, pérdida de materia orgánica (nutrimentos), compactación, erosión, salinidad, etc. Todos esos cambios afectan de manera negativa a una gran cantidad de fauna, como se comprobó en este trabajo y coincidiendo con otros autores (Peredo *et al.*, 2002; Bernal 2006), en estos sistemas los organismos se ven reducidos tanto en densidad como en diversidad. De los organismos estudiados, los Ácaros fueron de los grupos más afectados, ya que en la mayoría de los campos agrícolas su presencia fue baja, y esto se debe a que se reproducen lentamente y son más sencibles (Primavesi, 1982; Linden, 1994).

Con el estudio de correlaciones entre el número de organismos de la fauna edáfica con las propiedades de suelo, se halló que algunas de ellas afectan de manera significativa a los organismos del suelo. Se encontró que una elevación de la CE favorece el aumento de las densidades de Colémbolos y Coleópteros ($r=0.4$, $p<0.01$) y de otros insectos ($p<0.02$), y esto tal vez es debido a que algunos cationes son importantes en su alimentación, sin embargo al haber más Coleópteros afectan de manera negativa y significativa a los Ácaros ($p<0.001$), ya que algunos de ellos son depredadores de dichos organismos (Primavesi, 1982; Urbano y Rojo, 1992).

En general, se halló que un incremento en la densidad aparente y real, dificulta la actividad de los organismos edáficos, principalmente a aquellos que no tienen la capacidad para modificar su entorno por lo que su número se ve reducido ($p<0.05$), siendo los Ácaros, Dípteros y larvas de insectos los que fueron los principalmente afectados.

El incremento en el espacio poroso aumenta la cantidad de oxígeno en el suelo, lo cual favorece a casi toda la fauna, principalmente a los Ácaros ya que significativamente se eleva su densidad ($p<0.03$). Sin embargo se encontró que a los Dípteros les afecto la elevación de la porosidad ($r=-0.4$, $p<0.01$), pues estos organismos proliferan en suelos con menos oxígeno y con abundante humedad (Burgues y Raw, 1971).

En cuanto a los separados del suelo que definen la clase textural, se encontró que un incremento en las proporciones de limo y arcilla, disminuyó significativamente la presencia de Colémbolos ($p<0.04$), ya que estos organismos proliferan mejor en suelos arenosos ($r=0.4$, $p<0.001$). Por otro lado los resultados mostraron que los Coleópteros aumentaron significativamente con el incremento de limo ($p<0.04$). Se ha reportado que los Colémbolos junto con otros grupos como los Ácaros y Anélidos están favorecidos por un tipo de humus no muy ácido (Killham, 1995) pero no se conoce el efecto de las proporciones de limo en el suelo sobre la densidad de estos organismos.

Con respecto a las propiedad químicas se encontró que un aumento en el pH potencial (disminución de acidez del suelo) favoreció significativamente el incremento tanto de Colémbolos como de Coleópteros ($p<0.02$). Los lugares con bajo N y K en el suelo, y alto P disponible favorecieron de manera significativa la presencia de las larvas de insectos ($p<0.005$). El incremento del K intercambiable, aumento la densidad de los Coleópteros ($r=0.4$, $p<0.01$).

En estudios realizados por Granados (2003) y por García (2003), encontraron que mediante el análisis de componentes principales (ACP) se puede determinar la calidad de suelos forestales bajo coníferas y que los parámetros edáficos que influyen en la asignación del valor de calidad son el porcentaje de humedad, arena, MOS, NTS, el pH activo y potencial, CE, los elementos Ca, K y Na intercambiables. Por lo que además del análisis de correlación, se realizó uno de componentes principales, donde se halló que las variables más robustas para este trabajo fueron las densidades aparente y real, arena, pH activo y potencial.

Con la información anterior se comprueba que la fauna edáfica, al estar relacionada con algunas propiedades que determinan la calidad de suelo, como son el porcentaje de humedad, arena, pH potencial, CE, K Inter., puede ser buena indicadora de Calidad del suelo, aunque faltan hacer más estudios, que confirmen lo anterior

Todos los seres vivos de una misma o de diferente especie establecen interacciones, en las cuales una o ambas partes salen beneficiadas, perjudicadas, o indiferentes. El suelo no es la excepción, aquí se halló que un incremento en la población de Ácaros favorece la presencia de Colémbolos y viceversa ($r=0.4$, $p<0.0001$). También se encontró que en los lugares donde abundan las larvas de insectos, hay una disminución de Ácaros ($p <0.0001$).

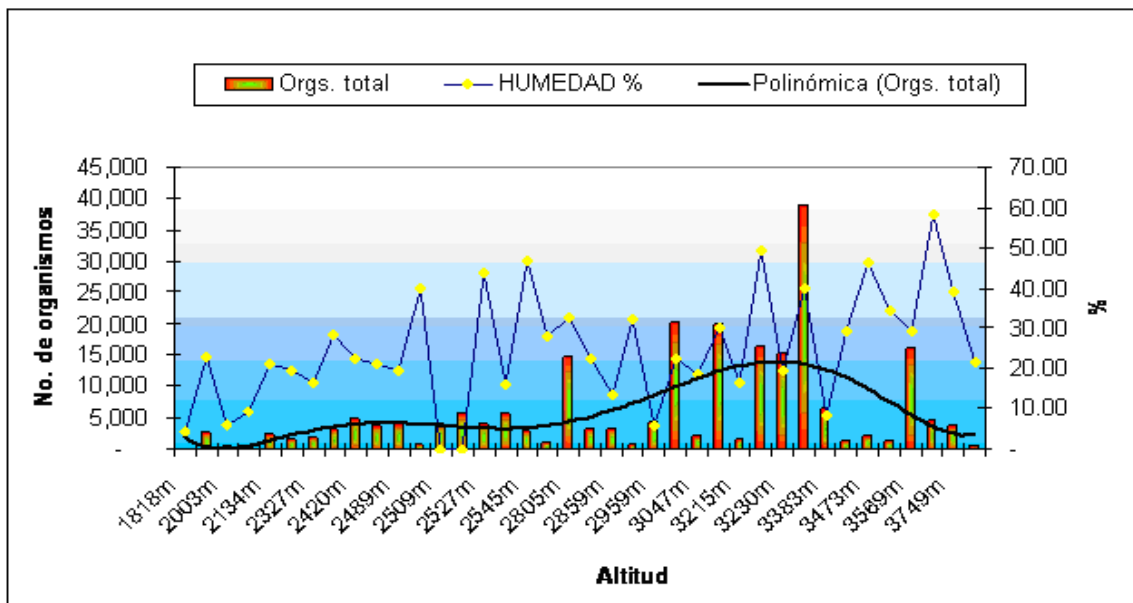


Figura 22. Que muestra la distribución altitudinal de la fauna edáfica.

Al graficar las altitudes de los lugares del estudio, se encontró que los sitios con mayor densidad de Fauna edáfica se concentraron entre los 2800 y 3400m (Figura 22).

De los organismos de suelo, los Ácaros fueron los que se favorecieron significativamente con el aumento en la altitud ($p < 0.001$), en cambio los Coleópteros y las larvas de insectos disminuyen conforme se produce este incremento ($p < 0.01$).

En la Figura, 23, se observa la variación de la densidad de los organismos y la humedad a lo largo del periodo del estudio en el 2006. Se puede apreciar que la fauna edáfica tiende a disminuir en los meses de primavera al igual que la humedad a medida que se entra a los meses de mayor sequía, para después aumentar en el otoño (posterior a la época fuerte de lluvias) por lo que esta época se podría recomendar para futuros estudios sobre fauna del suelo si se quiere obtener una densidad máxima de organismos, y conforme se acerca el invierno los organismos empiezan a disminuir. Por otra parte se ha podido comprobar lo que mencionan otros autores como Covarrubias (2004) y Andrés y Mateos (2005), que existen fluctuaciones en los diferentes grupos fauna edáfica a lo largo del año.

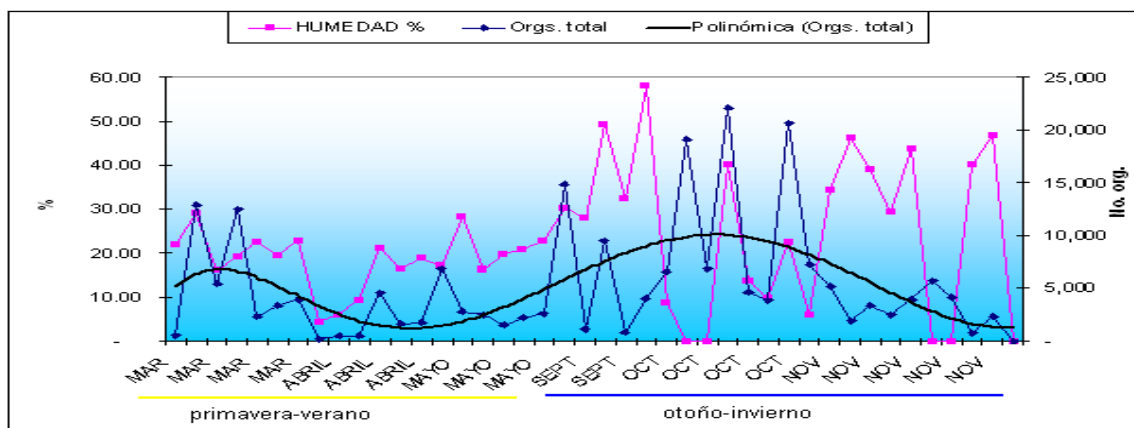


Figura 23. Variaciones estacionales de la fauna edáfica a lo largo del año del estudio y el porcentaje de humedad en el suelo.

Al analizar las fluctuaciones por grupos se encontró que los Ácaros fueron los más abundantes en la temporada de estiaje, y a medida que las condiciones ambientales se volvieron más secas los Colémbolos y los otros grupos más sensibles al estrés hídrico (Coleópteros, Dípteros, etc.), en los muestreos se hicieron prácticamente inexistentes, tal vez por quedaron restringidos a los sitios favorables que aun quedaban o permanecieron en estado latente, esto coincide con Arbea y Blasco-Zumeta 2001, Covarrubias 2004. Sin embargo en la época de lluvias las condiciones fueron otras y proporcionalmente los Colémbolos fueron más numerosos que los Ácaros, de hecho menciona Burgues y Raw 1971 que estos organismos prefieren condiciones hídricas, también hubo un notable incremento en diversidad y abundancia de otros grupos de fauna del suelo.

11.3 INDICADORES FÍSICOS DE CALIDAD DEL SUELO

a) Parque Nacional Iztaccihuatl - Popocatepetl.

De acuerdo al análisis de las propiedades físicas (Cuadro 18), se encontró que los suelos de bosque presentaron conductividad eléctrica (CE) entre 0.022 y los 0.121 dS m⁻¹ con un promedio de 0.087 dS m⁻¹, esto indica que ninguno de los suelos de esta zona tiene problemas de salinidad. Estos valores coinciden con los reportados por Granados (2003).

En referencia a la densidad aparente (DA), estos suelos tuvieron valores entre 0.69 (La Joya) y 1.16 g cm⁻³ (Camino a Santiago X.), se encontró que la DA de los bosques presenta un promedio de 1.00 g cm⁻³, el cual es similar a lo reportado por Astudillo (2006).

También se determinó la densidad aparente por medio de un cilindro (DAC), el cual consistió en introducir un cilindro de plástico en los primeros 10 cm del suelo, de modo que se obtiene una muestra de dicho cuerpo en condiciones de campo sin perturbar (toma en cuenta la estructura del suelo, la materia orgánica, las rocas, etc.). Por lo anterior la densidad aparente medida con el cilindro (DAC) resultó ser más baja que la DA medida comúnmente, ya que para determinar a esta última se destruye la estructura del suelo y se eliminan a casi todos los materiales mayores a 2 mm de diámetro (aunque las muestras se toman de 0 a 20 cm). La DAC se encontró entre 0.4 y 0.67 g cm⁻³ con un promedio de 0.62 g cm⁻³.

Una propiedad interesante por su contribución a la comprensión de las condiciones de espacio poroso aireación y humedad del suelo (HS) es la densidad real (DR) cuyos valores encontrados estuvieron entre 2.02 y 2.58 g cm⁻³ para La Joya y Apatlaco respectivamente. En otra investigación realizada por García (2003) en esta zona se reportan valores que coinciden con los de este estudio y por ello con los valores de DA y DR aplicados en una fórmula se obtuvo que el porcentaje del espacio poroso (EP) del suelo, la porosidad guarda una relación inversa con la DA ya que cuando una aumenta la otra disminuye. El EP encontrado para los suelos de uso forestal osciló entre 51 y 66 %, dichos coinciden con lo reportado por Astudillo (2006). Los valores de humedad del suelo (HS) en las unidades ambientales estudiadas se encontraron desde 9 en Apatlaco, hasta 58 en Paso de Cortes. Una de las causas de esta variabilidad podría atribuirse en parte a la época del año en que se colectaron las muestras.

La clase textural (CT) determinada con base en los porcentajes de arena, limo y arcilla, fue establecida con ayuda del triángulo de las texturas. Se encontró que los suelos que se estudiaron contienen altos porcentajes de arena (>60%) por lo que la mayoría de los suelos presentaron CT denominadas Arena migajonosa y Migajón arenoso y así estos valores coinciden con lo reportado para este Parque Nacional en estudios realizados por Astudillo (2006) y León (2007).

Cuadro 18. Parámetros físicos del suelo del Parque Iztaccíhuatl-Popocatepetl.

Sitio	US	CE	DA	DAC	DR	HS	EP	Limo	Arcilla	Arena	CT
		dS m ⁻¹	g cm ⁻³			%					
Paso de Cortes*	F	0.092	0.76	0.68	2.30	58	56	14.2	4.5	81.2	Arena Migajonosa
Santiago X.	F	0.022	1.04	---	2.44	26.6	58	18	6.8	75.1	Arena Migajonosa
La Joya	F	0.071	0.69	0.40	2.02	25.5	66	24.7	4.8	70.4	Migajón arenoso
Apatlaco	F	0.121	1.04	0.67	2.58	9.8	59	24	4.8	71.1	Migajón arenoso
Carr. A Nexapa*	F	0.063	1.15	0.65	2.34	50	51	29.3	3.6	67.1	Migajón arenoso
Sacromonte*	F	--	1.12	---	2.29	--	51	32	8.7	59.3	Franco
Cañada la Calzada*	F	0.121	1.06	0.48	2.27	40	53	29	4	67	Migajón arenoso
Camino a Santiago Xalizintla*	F	0.120	1.16	0.87	2.38	22.6	51	16.4	4.2	79.5	Arena Migajonosa
Media F:		0.087	1.00	0.62	2.32	35	56	23.4	5.2	71.3	
Sacromonte 2*	A	0.077	1.40	---	2.48	--	43	21	9.4	69.6	Migajón arenoso
Tlachalony*	A	0.074	1.46	1.24	2.46	13.7	40	19	3.4	77.6	Arena Migajonosa
Cultivo de Zanahorias*	A	0.098	1.31	1.31	2.29	9.7	44	14	3.4	82.6	Arena Migajonosa
Capoltiopa*	A	0.065	1.47	1.40	2.54	5.9	42	26	2.4	71.6	Migajón arenoso
Capoltiopa 2*	A	0.076	1.46	---	2.56	--	43	8	2.7	89.3	Arena
Media A:		0.078	1.42	1.31	2.46	9.76	42	17.6	4.2	78.1	
Media:		0.083	1.16	0.85	2.38	22	51	21.2	4.9	73.9	
DE:		0.029	0.25	0.37	0.15	16.5	8	7.1	2.2	8	

US = uso de suelo A = agrícola F = forestal CT= clase textural DE= desviación estándar
* lugares muestreados en la misma en la misma época del año

Respecto a los sitios agrícolas (lugares con cambio de uso de suelo), se encontró que la CE estuvo entre 0.65 y 0.98 dS m⁻¹ con un promedio de 0.078 dS m⁻¹, por lo que al igual que los bosques no tienen problemas de salinidad. La DA presentada fue de 1.31 a 1.47 g cm⁻³, con un promedio de 1.42 g cm⁻³. Mientras que la DAC promedio fue de 1.31 g cm⁻³. El porcentaje de espacio poroso estuvo entre 40 y 44. Los suelos de estos lugares al estar sometidos a un constante laboreo aunado a que no tienen una cubierta de mantillo, ocasiona que se produzca un proceso de compactación, por que tienen una mayor densidad, menor espacio poroso y contenido de humedad, que los suelos de los bosques cercanos.

b) Parque Nacional Hacienda Zoquiapan y Anexas.

Los resultados de las propiedades físicas determinadas en este Parque Nacional que se muestran en el Cuadro 19, indican una CE promedio de 0.065 dS m^{-1} , que está dentro del intervalo de salinidad reportados por Astudillo (2006) y León (2007) para suelos de bosques del Parque Nacional Hacienda Zoquiapan y Anexas y al igual que los suelos del Parque Nacional Izta-Popo, no presentaron problemas de salinidad como resultado de la semejanza en sustrato geológico y en tipos de vegetación en ambos Parques Nacionales. La DA de los suelos se encontró desde 0.9 hasta 1.1 g cm^{-3} , las cuales pueden ser consideradas bajas; mientras que la DAC se presentó desde 0.4 hasta 1.2 g cm^{-3} . La DR estuvo comprendida entre 2 y 2.3 g cm^{-3} , dichos valores entran en los rangos reportados por Valderrábano (2005) y León (2007) y el EP se encontró entre 42 y 57%, que coinciden con los encontrados por León (2007) en un estudio de calidad de suelos de uso forestal en este Parque Nacional.

Los contenidos de humedad, se encontraron desde 24 hasta 49%, valores altos en concordancia de la época de lluvias en la que se colectaron estas muestras de suelo.

Estos suelos contienen en su mayoría más de 20% de limo y en promedio 50 % de arena, por lo que su clase textural (CT) es franca y Migajonosa, lo que coincide con los datos reportados por Astudillo (2006) y León (2007).

Cuadro 19. Parámetros físicos de suelo, de Zoquiapan y Anexas.

Sitio	US	CE	DA	DAC	DR	HS	EP	Limo	Arcilla	Arena	CT
		dS m^{-1}	g cm^{-3}			%					
Faldas del Tlaloc	F	0.07	1.1	0.6	2.3	30	42	22	6.2	71.8	Migajón arenoso
Bosque reforestado	F	0.04	1.0	0.9	2.0	28	50	21	30.2	48.8	Migajón arcilloso
Cañada	F	0.10	0.9	0.4	2.2	49	56	31	8.2	60.8	Franco
Pastizal	F	0.04	0.9	0.7	2.1	32	57	36	13.2	50.8	Franco
Campo 1	A	0.08	1.03	1.2	2.2	24	54	31	28.2	43.8	Migajón arcilloso
Campo 2	A	0.05	1.05	---	---	--	--	34	7.38	58.6	Franco
Media:		0.06	1.01	0.7	2.1	33	52	29.1	15.5	55.8	
DE:		0.02	0.07	0.3	0.1	9.6	6.3	6.2	10.8	10.6	

US = uso de suelo

A = agrícola

F = forestal

CT= clase textural

c) Parque Nacional Benito Juárez y Anexas.

La mayoría de los suelos estudiados se caracterizaron por ser poco desarrollados y delgados, reconociendo en la superficie de ellos, con cierta facilidad, al material parental principalmente derivado de rocas sedimentarias.

Los resultados de las propiedades físicas presentados en el Cuadro 20 muestran que los valores de CE encontrados fueron bajos lo que indica sus características poco salinas debido a que la CE estuvo entre 0.03 en la Carretera a Oaxaca y 0.18 dS m^{-1} en el sitio Camino a Ixtepeji. La DA de los suelos estuvo entre 0.7 g cm^{-3} en el sitio denominado Campamento y 1.4 g cm^{-3} en el de la Carretera a Oaxaca; la DAC se encontró de 0.7 a 1.0 g cm^{-3} . En el caso de la DR fue de 1.7 a 2.3 g cm^{-3} para la unidad Camino a Oaxaca y Camino a Ixtepeji respectivamente.

El contenido de humedad del suelo se encontró entre 4% (San Jerónimo Xola) y 21% (Camino a Ixtepeji) con promedio de 13%. En cuanto al EP del suelo, los valores encontrados estuvieron entre 37 y 61%, para Carretera a Oax. y La Cumbre respectivamente. Respecto a las partículas que constituyen el suelo, la arena fue la fracción más importante en proporción ya que represento más del 60%, por lo que la CT de la mayoría de estos suelos fue un Migajón arenoso.

Cuadro 20. Parámetros físicos de suelo del Parque Nacional Benito Juárez y Anexas.

Sitio	CE	DA	DAC	DR	HS	EP	Limo	Arcilla	Arena	CT
	ds m^{-1}	g cm^{-3}			%					
San Jerónimo Xola	0.050	1.2	---	2.3	4	46	20	9.44	70.56	Migajón arenoso
Carr. a Oax. 25 Km	0.036	1.4	1.0	2.3	6	37	28	5.44	66.56	Migajón arenoso
Camino de Oax.	---	0.7	0.7	1.7	9	56	24	5.44	70.56	Migajón arenoso
Camino a Ixtepeji	0.041	1.3	1.0	2.3	21	45	20	7.44	72.56	Migajón arenoso
La Cumbre	0.059	0.8	---	2.2	17	61	34.7	9.44	55.84	Franco
Campamento	0.133	0.7	0.7	2.2	19	43	31.3	6.16	62.56	Migajón arenoso
Media:	0.064	1.0	0.8	2.2	13	48	26.3	7.23	66.4	
DE:	0.04	0.2	0.2	0.3	7	9	6.0	1.86	6.31	

d) Reserva de Biosfera Sierra de Manantlán

Las propiedades físicas de los suelos estudiados en esta área se encuentran en el Cuadro 21. Los valores de CE que se obtuvieron van desde 0.04 hasta 0.16 dS m⁻¹, con una media de 0.07 dS m⁻¹ por lo que con esta conductividad eléctrica, estos al ser suelos forestales no presentan problemas de salinidad.

Los valores de la densidad aparente se encontraron entre 0.9 y 1.1 g cm⁻³; la DAC estuvo de 0.6 a 0.8 g cm⁻³; y los valores de la densidad real se hallaron entre 1.6 y 2.3 g cm⁻³ y ya considerando la relación de ambas densidades que determinan el espacio poroso se encontraron valores entre el intervalo de 34 a 56% y el contenido de humedad en estos suelos estuvo entre 16 y 34%. Todos estos valores corresponden a las propiedades físicas de suelos con vocación forestal ya que Granados (2003), García (2003), Valderrábano (2004), Astudillo (2006) y León (2007), encontraron en bosques templados de Pino y oyamel, suelos con baja conductividad eléctrica, de texturas ligeras y densidades aparente y real bajas.

El porcentaje de fracciones de los separados del suelo fue muy variable. Para la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, se reporta una complejidad en los materiales del sustrato geológico (INE, 2000) y quizá junto con las fuertes pendientes, de varios de los sitios estudiados, pueda ser la causa de tal variabilidad en las fracciones de limo, arena y arcilla de los suelos en los bosques templados de esta zona. Estos suelos en su mayoría se caracterizaron por tener más del 30% de limo, su clase textural corresponde a un Migajón.

Cuadro 21. Propiedades físicas de suelo, de la R. B. Sierra de Manantlán.

Sitio	CE	DA	DAC	DR	HS	EP	Limo	Arcilla	Arena	Clase textural
	Ds m ⁻¹	g cm ⁻³			%					
Nevado de Colima	0.100	1.1	0.6	1.6	17	34	6	2.6	96.6	Arena
Las Joyas 1	0.045	0.9	0.6	2.0	28	56	40	5.4	54.6	Migajón arenoso
Las Joyas 2	0.022	1.0	0.8	2.3	16	55	42	33.4	24.6	Migajón arcilloso
Las Joyas 3	0.156	0.9	0.7	2.0	20	53	34	39.4	26.6	Migajón arcilloso
Las Joyas 4	0.050	---	0.6	---	21	--	38	5.4	56.6	Migajón arenoso
Las Joyas 5	0.044	0.9	0.6	2.0	23	54	39.3	26.2	34.6	Franco
Media:	0.07	0.9	0.6	1.9	21	50	33.2	18.7	48.9	
DE:	0.05	0.1	0.1	0.2	4.3	9	13.6	16.2	27.0	

e) Subprovincia Mil Cumbres.

Los valores de CE para los suelos forestales de la subprovincia Mil Cumbres (Cuadro 22) indican que ninguno de ellos tiene problemas de salinidad, ya que se encontraron valores en el intervalo de 0.041 a 0.192 dS m⁻¹ y una media de 0.105 dS m⁻¹. La DA se encontró entre 0.5 y 0.9 g cm⁻³; y la DAC 0.4 a 0.8 g cm⁻³. Los valores más bajos pueden deberse al elevado contenido de materia orgánica del suelo como la que se deposita anualmente al suelo. Mientras que la DR encontrada estuvo entre 1.4 y 2.1 g cm⁻³.

Por otro lado el EP presento valores altos, en la mayoría de los sitios constituyo más del 50% del suelo, esta propiedad ocasiona que estos suelos tengan una buena aireación y permitan que haya una buena infiltración de agua hacia los mantos acuíferos, esta es una de las razones por las que esta zona es una importante abastecedora de agua potable para el centro de México.

El contenido de humedad se encontró desde 16 hasta 47%. Esta propiedad fue muy variable, en parte debido a que se realizaron dos diferentes muestreos uno en primavera y otro en otoño, siendo en esta última época en donde se encontraron los sitios más húmedos.

En cuanto a los suelos agrícolas, la CE se encontró de 0.056 a 0.207 dS m⁻¹ con una media 0.157 dS m⁻¹, dichos valores son más altos que los suelos de los bosques y esto tal vez sea causado por el uso de fertilizantes. La media para la densidad aparente fue de 0.9 g cm⁻³, mientras que para DAC fue 0.7 g cm⁻³, las cuales resultaron ser ligeramente más altas que las de los forestales, aunque aun resultan ser densidades bajas, esto es a lo mejor debido a la materia orgánica y a que no llevan mucho tiempo como suelos agrícolas. El promedio para la DR fue de 2.1 g cm⁻³. El EP promedio encontrado fue de 56.2%, el cual es menor que el forestal. La humedad del suelo fue alta y se encontró con una media 37%.

Respecto a la clase textural, la mayoría de los suelos tanto agrícolas como forestales, se caracterizaron por ser Migajones. Aunque la mayoría de ellos contienen una considerable cantidad de arena (poco más del 50%), están más desarrollados que los suelos de las otras áreas naturales ya que contienen en promedio una mayor cantidad de partículas finas, más del 35% de limo y 15% de arcilla.

Cuadro 22. Parámetros físicos del suelo de Mil cumbres.

Sitio	US	CE	DA	DAC	DR	HS	EP	Limo	Arcilla	Arena	CT
		dS m ⁻¹	g cm ⁻³			%					
Malinalco	F	0.097	0.7	0.6	1.9	16	54	28	10.8	61.1	Migajón arenoso
Nevado de Toluca	F	0.053	0.8	0.6	2.0	22	58	30	5.4	64.6	Migajón arenoso
Carr. a Raíces	F	0.053	0.8	0.5	2.0	30	58	26	7.4	66.6	Migajón arenoso
Carr. Ocampo	F	0.041	0.8	0.6	1.6	16	50	39.3	9.4	51.3	Franco
Mariposa monarca	F	0.192	0.7	0.5	1.5	19	54	18.7	26.7	54.6	Migajón arcillo arenoso
Lím. Edo. Méx.	F	0.188	0.5	0.4	1.4	23	66	28	6.7	65.3	Migajón arenoso
Sn. Cayetano	F	0.089	0.7	0.5	1.9	20	62	41.3	15.4	43.3	Franco
Donato Guerra	F	0.086	0.7	---	1.8	---	62	51.3	23.4	25.3	Migajón limoso
Ajusco	F	0.097	0.8	0.8	2.1	34	60	20	8.6	71.4	Migajón arenoso
Nevado de Toluca 2	F	0.086	0.8	0.5	1.8	39	57	58.7	6.7	34.6	Migajón limoso
La Cumbre Bosque	F	0.094	0.9	0.6	2.1	44	54	76.2	14.2	9.6	Migajón limoso
Camino a "El Rosario"	F	0.186	0.7	0.5	---	47	--	39.3	9.4	51.3	Franco
Media F:		0.105	0.7	0.5	1.8	28	58	38.1	12.0	49.9	
Donato Guerra 2	A	0.056	0.8	---	2.0	---	61	51.3	23.4	25.3	Migajón limoso
Ajusco 2	A	0.089	0.8	0.5	1.9	46	58	23.4	8.6	68.0	Migajón arenoso
Raíces	A	0.196	0.9	1.0	2.2	29	55	55.7	9.7	34.6	Migajón limoso
La Cumbre c. agrícola 1	A	0.209	---	---	2.5	--	--	13	7	80	Arena Migajosa
La Cumbre c. agrícola 2	A	--	---	---	2.0	--	--	25	10	65	Migajón arenoso
La Cumbre c. agrícola 3	A	0.184	0.8	0.6	1.9	40	57	81.5	14.8	3.6	Migajón limoso
"El Rosario"	A	0.207	1.0	0.8	2.1	33	49	30	11.2	58.8	Franco
Media A:		0.157	0.9	0.7	2.1	37	56	40	12.1	47.9	
Media:		0.118	0.8	0.6	1.9	30	57	38.2	13.3	48.5	
DE:		0.063	0.1	0.2	0.3	10.6	4.5	19.3	7.7	21.7	

US = uso de suelo

A = agrícola

F = forestal

CT= clase textural

DE= desviación estándar

Al analizar las propiedades físicas de los suelos de las diferentes ÁNP (Cuadro 23), se obtuvo que la CE fue más baja en Zoquiapan y el PNB (0.06 dS m⁻¹) y el más alto fue S. Mil Cumbres (0.118 dS m⁻¹), por lo que en ninguna de las unidades ambientales estudiadas existen problemas de salinidad a pesar de que varias de estas tienen uso agrícola. Uno de los problemas más recurrentes en los agroecosistemas del mundo y de varias zonas del país, es que el riego constante e irracional de las parcelas agrícolas, ha ocasionado fuertes problemas de salinidad que han hecho inservibles

dichos terrenos, sin embargo la razón de que en las zonas agrícolas estudiadas no se presenten dichos problemas, tal vez se ha debido a que dichas parcelas dependen de las lluvias para su riego.

La DA más baja se presentó en Mil Cumbres (0.8 g cm^{-3}) y la más alta en Izta-Popo (1.16 g cm^{-3}). La DAC más bajas se presentaron en S. Mil Cumbres y RBSM (0.6 g cm^{-3}) y la más alta en Izta-Popo y PNBJ (0.8 g cm^{-3}). Los campos agrícolas presentaron mayores densidades que los suelos de los Bosques cercanos a ellos, debido a que son sometidos constantemente pérdida de materia orgánica y acciones de laboreo que aumentan la compactación del suelo. Al igual que con la anterior propiedad, la DR más baja se obtuvo en Mil Cumbres (1.9 g cm^{-3}) y la más alta en Izta-Popo (2.3 g cm^{-3}). El EP más bajo se encontró en PNBJ (48%) y el más elevado en Mil Cumbres (57%).

Tanto la DA, DAC y el EP, como la humedad dependen de la MOS, ya que esta reduce la densidad, ayuda a la formación de agregados con lo que el suelo adquiere una mejor estructura, que favorece la existencia de una mayor cantidad de poros, que permiten una mayor aireación e infiltración de agua, que trae como consecuencia un desarrollo más óptimo de los organismos que dependen de ese suelo.

La humedad es una de propiedades del suelo que más variable es, debido a una gran cantidad de factores que aumenta o decrecen su porcentaje en el suelo, como son la lluvia, la temperatura, la cobertura arbórea, las plantas, y las propiedades físicas del mismo suelo entre otras. El contenido de humedad más bajo se encontró en el PNBJ (12.7%) esto se debió a que esta zona se tomaron las muestras en época de sequía y varios de sus sitios estudiados colindaban con bosques secos, por otro lado la ANP con el más alto contenido de humedad fue Zoquiapan (32.8%), ya que se muestreo al final de la época de lluvias. Al hacer el análisis estadístico se encontró que la altitud estaba relacionada con la humedad ($r = 0.4, p < 0.001$), ya que los sitios que se encontraban a mayor altitud en la diferentes ANP, resultaron ser los más húmedos.

Cuadro 23. Promedios de los parámetros físicos de suelo, de las diferentes áreas de estudio.

ANP	CE	DA	DAC	DR	HS	EP	Limo	Arcilla	Arena	CT
	dS m ⁻¹	g cm ⁻³			%					
Izta-Popo	0.083	1.2	0.8	2.4	22	50.6	21.2	4.87	73.9	Arena migajonosa
Zoquiapan	0.06	1.0	0.7	2.1	32.8	51.9	29.1	15.5	55.8	Migajón arenoso
PNBJ	0.064	1.0	0.8	2.1	12.7	48	26.3	7.23	66.4	Migajón arenoso
RBSM	0.07	0.9	0.6	1.9	20.9	50.4	33.2	18.7	48.9	Franco
Mil Cumbres	0.118	0.8	0.6	1.9	30	57.1	38.2	13.2	48.5	Franco

Los suelos de bosque y campo agrícola en las diferentes ANP, contienen cerca del 50% o más de arena, y los suelos donde predomina esta fracción, presentan buena aireación e infiltración. La arcilla y la arena, presentan diferencias significativas con ANP, pendiente y altitud.

11.5 INDICADORES QUÍMICOS DE CALIDAD DE SUELO.

a) Parque Nacional Iztaccihuatl - Popocatepetl.

Se encontró que los suelos forestales de este lugar (Cuadro 24) tuvieron un pH activo de entre 4.7 y 7.2, con un promedio de 6.2, estos valores son cercanos a los reportados por León (2007). La unidad ambiental que mostró una muy fuerte acidez (< 5.0) fue Paso de Cortes, la que presentó moderada acidez C. Santiago Xalizintla (5.7), la que tuvieron ligera acidez Apatlaco y la Joya (6.1), y suelos neutros (6.6 – 7.3) Sacromonte, Santiago y C. a Nexapa. Por otro lado el pH potencial, tuvo un valor más bajo y se estableció en un intervalo de 3.9 a 6.1 con un promedio de 5.0.

El contenido de materia orgánica del suelo (MOS) se encontró de 5.9 a 11.1%, con un promedio de 7.9%. Mientras que el N total de suelo (NTS) estuvo desde 0.04% hasta 0.56%, con un promedio de 0.3%. En general los suelos que tuvieron mayor contenido de MOS, se encontraron a mayor altitud, como la mayoría del N proviene de la MOS, los sitios con mayor contenido de este macroelemento, estuvieron en los mismos lugares. En cuanto a la relación Carbono-Nitrógeno (C:N) esta estuvo comprendida entre 7.5 y 78.3, con un promedio de 24.3. La relación C:N, sirve para saber que tan fácil es que la materia orgánica de un determinado lugar se pueda reintegrar al suelo, entre más alta sea la relación entre estos dos elementos es más difícil que se puede llevar a cabo dicho proceso.

El contenido de P disponible se encontró desde 39.4 a 252.53 partículas por millón (ppm), con un promedio de 143 ppm. El potasio intercambiable (K int) se encontró desde 0.350 a 1.567 $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$, con un promedio de 0.644 $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$.

Para los sitios agrícolas se encontró que el pH activo estuvo en un intervalo de 4.9 a 6.1 con una media de 5.9. El pH potencial se estableció de 4.2 a 5.8 con un promedio de 4.8. La materia orgánica del suelo fue de 5.5 a 8.5% con una media de 7.2. El NTS fue de 0.06 a 0.16 %. Estos valores resultaron ser más bajos que los presentados por los suelos forestales. La relación Carbono:Nitrógeno se encontró de 27.9 a 60.4. En general la mayoría de los sitios dedicados a la

agricultura y a excepción de uno de bosque fueron los que tuvieron las más elevadas relaciones C:N, por lo que a pesar de que en ellos había una considerable cantidad de MOS, los nutrientes que pudiera aportar esta no quedarían a disposición inmediata de tiempo. El Fósforo disponible estuvo en un rango de 244.11 a 353.54 ppm, por lo que resultaron tener una mayor cantidad de este nutriente que los suelos forestales, debido a que son constantemente fertilizados. El Potasio intercambiable estuvo desde 0.076 a 0.589 $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$ con un promedio de 0.332 $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$, lo cual es casi la mitad de lo encontrado en los bosques.

Cuadro 24. Parámetros químicos del suelo del Área Natural Protegida Iztaccíhuatl-Popocatepetl.

Sitio	US	pH 1:2		MOS	NTS	P disp	K int	C:N
		H ₂ O	KCl					
Paso de Cortes	F	4.7	3.9	7.2	0.56	155.3	0.350	7.5
Santiago X.	F	6.8	5.0	5.8	0.04	155.40	0.154	78.3
La Joya	F	6.1	4.4	9.7	0.50	39.40	0.376	8.9
Apatlaco	F	6.1	4.5	7.4	0.37	107.44	0.853	11.4
Carr. A Nexapa	F	7.2	5.6	7.1	0.46	164.41	1.567	8.9
Sacromonte	F	6.6	6.1	11.1	0.33	122.05	1.142	19.3
Cañada la Calzada	F	6.1	5.4	7.7	0.21	147.31	0.414	21.6
Camino a S. Xalizintla	F	5.7	5.1	7.3	0.11	252.53	0.294	38.4
Media F:		6.2	5.0	7.9	0.3	143.0	0.644	24.3
Sacromonte 2	A	6.1	5.2	8.5	0.16	248.32	0.589	30.7
Tlalachony	A	5.7	4.8	6.1	0.10	324.07	0.327	36.4
Cultivo de Zanahorias	A	5.1	4.2	6.9	0.14	244.11	0.546	27.9
Capoltiopa	A	5.2	4.5	9.0	0.09	353.54	0.076	60.4
Capoltiopa 2	A	4.9	4.2	5.5	0.06	319.87	0.125	50.6
Media A:		5.4	4.6	7.2	0.1	298.0	0.332	41.2
Media:		5.9	4.8	7.6	0.25	207.72	0.524	30.8
DE:		0.7	0.6	1.6	0.19	94.24	0.431	21.8

US = uso de suelo A = agrícola F = forestal DE= desviación estándar

b) Parque Nacional Hacienda Zoquiapan y Anexas.

Los valores de pH activo para los suelos de este Parque estuvieron entre 6 y 7.7, con un promedio de 6.4. El suelo que presento moderada acidez fue Campo Agrícola 2 y Faldas del Tlalóc, los suelos que fueron ligeramente ácidos Cañada y Bosque reforestado, el suelo neutro se presentó en el Pastizal y el que tuvo suelo ligeramente ácido fue el Campo Agrícola 2. Mientras el pH potencial se

encontró entre 5.2 y 6.3, con un promedio de 5.4. Los valores obtenidos tanto para pH activo como potencial son más altos que los reportados por Astudillo (2006).

La cantidad de MOS en estos suelos se estableció de 0.33 a 7.7%, con un promedio de 4.09%. El N del suelo se encontró desde 0.03 hasta 0.31 %, con un promedio de 0.13%. La relación C:N tuvo valores que oscilaron entre 6.4 y 35.9, con un promedio de 17.7. Los sitios que presentaron los mayores porcentajes de MOS y NTS, fueron los sitios ubicados en bosque de Abies (Faldas del Tlaloc y la Cañada), aunque los sitios con menor cantidad de dichas propiedades tuvieron las mejores relaciones C:N (Campo Agrícola y Bosque reforestado).

Los valores P disponible se estuvieron en un intervalo de 73.95 a 312.86 ppm, con un promedio de 151.95 ppm. El K intercambiable se determinó de 0.241 a 1.132 $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$, con un promedio de 0.771 $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$.

Cuadro 25. Parámetros químicos de suelo, de Zoquiapan.

Sitio	US	pH 1:2		MOS	NTS	P disp	K int	C:N
		H ₂ O	KCl					
Faldas del Tlaloc	F	6.0	5.3	7.7	0.18	153.58	0.632	24.8
Bosque reforestado	F	6.4	5.2	0.9	0.05	73.95	1.132	10.4
Cañada	F	6.1	5.4	6.0	0.31	312.86	0.545	11.0
Pastizal	F	6.7	5.3	5.6	0.09	164.96	0.241	35.9
Media F:		6.3	5.3	5.1	0.2	176.3	0.6	20.5
Campo 1	A	7.7	6.3	0.3	0.03	73.95	0.999	6.4
Campo 2	A	5.7	5.0	--	--	132.42	1.075	--
Media A:		6.7	5.6	0.3	0.03	103.1	1.037	6.4
Media:		6.4	5.4	4.1	0.13	151.95	0.771	17.7
DE:		0.7	0.4	3.3	0.12	87.88	0.354	12.3

US = uso de suelo A = agrícola F = forestal DE= desviación estándar

c) Parque Nacional Benito Juárez y Anexas.

Al evaluar las propiedades químicas de estos suelos (Cuadro 26), se encontró que el pH activo estuvo en un intervalo de 3.8 a 5.9, con un promedio de 5.2. Los sitios que presentaron una muy fuerte acidez, correspondieron al Campamento y a la Cumbre, el suelo de C. a Ixtepeji tuvo una fuerte acidez y una acidez moderada la tuvieron San Jerónimo Xola y C. a Oaxaca. Por otro lado el pH potencial estuvo entre 3.2 y 5.2. A lo largo de todo el gradiente altitudinal se encontró al género

Pinus, que de acuerdo con Pritchett (1991), es tolerante y su desarrollo es eficiente en suelos ácidos.

Con respecto al contenido de materia orgánica del suelo (MOS), a pesar de que esta es abundante (en forma de mantillo) en la superficie de todos los sitios, el proceso de integración al suelo es muy bajo, ya que hay poca agua durante la mayoría de los meses del año, que pueda ayudar a acelerar el proceso de mineralización de la materia orgánica y el material parental. Por lo que el contenido de MOS se encontró entre 3.71 y 5.64%, con un promedio de 4.6%. El NTS estuvo de 0.03 a 0.72%, con un promedio de 0.24%. La relación C:N determinada se estableció de 6.2 a 96.2. El Fósforo disponible determinado tuvo valores desde 111.11 a 129.22 ppm, con un promedio de 125.75 ppm. Mientras el catión K estuvo entre 0.019 a 0.069 $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$.

Cuadro 26. Parámetros químicos de suelo del Parque Nacional Benito Juárez Y Anexas

Sitio	pH		MOS	NTS	P disponible	K int	C:N
	H ₂ O	KCl	%		ppm	$\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$	
San Jerónimo Xola	5.9	5.2	3.71	0.10	129.2	0.056	21.7
Carr. A Oax. 25 Km	5.7	4.5	--	0.09	111.1	0.019	--
Camino de Oax.	--	--	--	0.72	154	0.063	--
Camino a Ixtepeji	5.5	4.5	4.16	0.09	118.5	0.066	27.0
Cumbre Antena	4.9	4.1	5.64	0.03	119.34	0.052	96.2
Campamento	3.8	3.2	4.75	0.44	122.36	0.069	6.2
Media:	5.2	4.3	4.6	0.24	125.75	0.054	57.6
DE:	0.8	0.7	0.8	0.27	15.03	0.14	56.2

d) Reserva de Biosfera Sierra de Manantlán

El pH activo se encontró entre 5.1 y 6.3, el promedio fue de 5.7. El suelo con una fuerte acidez correspondió a las unidades Las Joyas 2, Las Joyas 4 y Las Joyas 5, con moderada acidez a Las Joyas 3 y los suelos con ligera acidez al Nevado de Colima y Las Joyas 1. El pH potencial obtenido estuvo entre desde 4.5 y 6.2.

En cuanto al contenido de MOS, esta se encontró entre 2.12 y 15.42% con un promedio de 11.12%. Mientras que el NTS estuvo entre 0.03 y 0.27%, con un promedio de 0.19%. La relación

C:N estuvo en un intervalo de 4.6 a 115. El P disponible estuvo entre 122.36 y 160.23 ppm, con un promedio de 142.73 ppm. El K intercambiable estuvo entre 0.03 y 0.102 $\text{cmol}_+\text{kg}^{-1}$.

Cuadro 27. Parámetros químicos de suelo, de la Sierra de Manantlán.

Sitio	pH		MOS	NTS	P disponible	K int	C:N
	H ₂ O	KCl	%		ppm	$\text{cmol}_+\text{kg}^{-1}$	
Nevado de Colima	6.3	6.2	6.08	0.03	147.33	0.03	115
Las Joyas 1	6.2	6.0	14.18	--	--	--	--
Las Joyas 2	5.1	4.5	2.12	0.27	160.23	0.051	4.6
Las Joyas 3	5.9	4.9	15.42	0.26	131.69	0.029	34.4
Las Joyas 4	5.4	5.2	15.22	--	122.36	0.044	--
Las Joyas 5	5.4	5.3	13.68	0.20	152.07	0.102	39.5
Media:	5.7	5.4	11.12	0.19	142.73	0.05	48.4
DE:	0.5	0.6	5.61	0.11	15.42	0.03	47

e) Subprovincia Mil Cumbres

Los suelos forestales de esta área, presentaron un pH activo entre 4.6 y 6.5 con un promedio de 5.6. Los sitios que presentaron una muy fuerte acidez en el suelo son C. a Raíces, Raíces, Valle de Bravo, Nevado de Toluca 2, La Cumbre Bosque, los que presentaron una fuerte acidez correspondieron a Nevado de Toluca, Ajusco 1, el sitio Carr. a Ocampo y Camino a el Rosario presentaron moderada acidez, mientras los que tuvieron ligera acidez estuvieron en Malinalco, Lim. Edo. de México, Mariposa Monarca, San Cayetano y Donato Guerra. Para el pH potencial los rangos se encontraron entre 4.3 y 5.8 con una media de 5.1 (Cuadro 28).

El contenido de MOS oscilo desde 7.3 hasta 27.6%, con un promedio de 14.5%. El NTS estuvo entre 0.22 y 0.84%, con una media de 0.5%. La cantidad de materia orgánica más alta como era de esperarse se encontró en los bosques, tanto superficialmente en forma de mantillo como dentro del mismo suelo y por ende es aquí en estos mismos lugares es donde se encontraron las mayores cantidades de nitrógeno. La relación C:N se encontró desde 9.3 hasta 73.1.

El P disponible se determino entre 98.7 y 269 ppm, con una media de 148.4 ppm. El catión potasio estuvo de 0.207 a 1.108 $\text{cmol}_+\text{kg}^{-1}$, con un promedio de 0.548 $\text{cmol}_+\text{kg}^{-1}$.

Cuadro 28. Parámetros Químicos del suelo del Área de Mil Cumbres.

Sitio	US	pH		MOS	NTS	P disp	K int	C:N
		H ₂ O	KCl					
Malinalco	F	6.2	5.8	12.8	0.66	98.7	1.108	11.3
Nevado de Toluca	F	5.1	4.4	14.1	0.84	107.0	0.682	9.8
Carr. a Raíces	F	5.0	4.3	14.1	--	111.1	--	--
Carr. a Ocampo	F	6.0	5.5	12.0	0.60	135.8	0.465	11.6
Mariposa monarca	F	6.4	5.6	27.6	0.22	144.1	0.943	73.1
Lím. Edo. Méx.	F	6.5	5.7	26.0	--	148.1	0.278	--
Sn. Cayetano	F	6.3	5.5	11.0	0.66	78.2	0.207	9.3
Donato Guerra	F	6.3	5.4	20.5	--	--	--	--
Valle de Bravo	F	5.0	4.9	13.6	--	--	--	--
Ajusco	F	5.1	4.5	8.5	0.42	269.0	0.263	11.9
Nevado de Toluca 2	F	4.8	4.5	11.0	0.42	269.0	0.267	15.3
La Cumbre Bosque	F	4.6	4.6	7.3	0.36	137.4	0.359	11.8
Camino a "El Rosario"	F	5.6	5.0	9.5	0.52	134.4	0.912	10.5
Media F:		5.6	5.1	14.5	0.5	148.4	0.548	18.3
Donato Guerra 2	A	5.5	5.2	11.9	--	--	--	--
Ajusco 2	A	5.1	4.6	12.3	0.58	224.0	0.379	12.3
Raíces	A	4.9	4.5	11.0	0.24	421.1	0.395	27.0
La Cumbre agrícola 1	c. A	5.2	4.5	0.7	0.09	143.4	--	5.2
La Cumbre agrícola 2	c. A	5.7	5.4	8.1	0.31	143.4	0.333	15.4
La Cumbre agrícola 3	c. A	4.6	4.4	10.1	0.38	161.3	0.486	15.2
"El Rosario"	A	5.5	5.1	2.8	0.37	161.3	0.522	4.3
Media A:		5.2	4.8	8.1	0.3	209.1	0.423	13.2
Media:		5.5	5.0	12.2	0.44	169.8	0.435	16.3
DE:		0.6	0.5	6.5	0.20	83.9	0.278	16.6

El pH activo del suelo agrícola se encontró entre 4.6 y 5.7 con un promedio de 5.2. Para el pH potencial los rangos se encontraron entre 4.4 y 5.4. Las dos mediciones de pH fueron ligeramente más bajas que las de los bosques. La MOS estuvo en un intervalo de 0.7 a 12.3% con una media de 8.1% y el contenido de NTS fue de 0.09 a 0.58%. Las relaciones C:N se encontraron entre 4.3 y 27, las cuales fueron mejores que las de los suelos naturales. El P disponible se determinó entre 143.4 y 401 ppm, con una media de 209.1 ppm. El catión potasio estuvo de 0.33 a 0.486 cmol₊kg⁻¹, con un promedio de 0.423 cmol₊kg⁻¹. Al igual que en Izta-Popo las mayores cantidades de P se encontraron en los suelos dedicados a la agricultura y las mayores cantidades K en los de bosque.

El ANP con el pH activo más bajo fue El PNBj (5.2), la acidez tan baja en esta zona tal vez es debida al material parental y al género *Pinus* el cual produce mantillo que reduce al pH, por otro lado el más alto correspondió a Zoquiapan (6.4). El rango de pH reportado en las diferentes ANP estudiadas (Cuadro 29), entra en los rangos reportados por Pritchett (1991) para los suelos forestales. El pH potencial se comportó de la misma manera que el activo el más bajo correspondió a El PNBj (4.2) y el más elevado a Zoquiapan y a la RBSM (5.4).

Cuadro 29. Promedios de los parámetros químicos de suelo, de las diferentes áreas de estudio.

Sitio	pH		MOS	NTS	P disponible	K int	C:N
	H ₂ O	KCl	_____ % _____		___ ppm ___	cmol.kg ⁻¹	
Izta-Popo	5.9	4.8	7.6	0.25	207.72	0.524	30.8
Zoquiapan	6.4	5.4	4.1	0.13	151.95	0.771	17.7
PNBJ	5.2	4.3	4.6	0.24	125.75	0.054	57.6
RBSM	5.7	5.4	11.12	0.19	142.73	0.05	48.4
Mil Cumbres	5.5	5.0	12.2	0.44	169.8	0.435	16.3

La ANP con la más bajo contenido de MOS correspondió a Zoquiapan (4.1%) esto es debido a que la mayor parte del estudio en esta zona se realizó en lugares perturbados, por otro lado el más alto contenido se encontró en Mil Cumbres (12.12%). Una de las tantas propiedades benéficas que tiene la MOS, es la de retener la humedad del suelo (disminuyendo la pérdida por evaporación), por lo que existen relaciones significativas entre la MOS y la humedad ($r=0.4$, $p<0.02$), ya que al aumentar una la otra también lo hace. También existen relaciones significativas con la arena ($r=0.87$, $p<0.01$), ya que al aumentar el contenido de esta la MOS disminuye, en otras palabras los suelos con mayor contenido de arena son los de más incipiente formación y con menor contenido de MOS.

Como el NTS depende de la MOS, ya que esta es su principal fuente, la ANP con el menor contenido de NTS fue Zoquiapan (0.13%) y el más elevado Mil Cumbres (0.44%). Existe una relación significativa entre la pendiente y el NTS, ya que conforme aumenta la pendiente el Nitrógeno disminuye. Se encontró una relación significativa entre el N y la altitud, de modo que conforme aumenta esta última también aumenta el Nitrógeno del suelo, esta información coincide con lo reportado por León (2007). Al relacionar este elemento con otros parámetros físicos, se encontró que existe una relación positiva con la arcilla ($r=0.4$, $p<0.005$), debido a que cuando aumenta esta el N también lo hace.

El área con la más alta relación C:N fue el PNBJ (57.6) y la relación más baja Mil Cumbres (16.3). Las áreas agrícolas presentaron mayores relaciones C:N que los bosques cercanos a estas, a pesar varias de ellas a pesar de que tenían altos contenidos de MOS.

En cuanto al P disponible el lugar con menor cantidad de este macroelemento fue el PNBJ (125.75 ppm) y con mayor cantidad Izta-Popo (207.72ppm). Al relacionar a este elemento con otros parámetros se encontró que existen relaciones significativas ($p < 0.03$), con la arcilla y la altitud, ya que al aumentar el contenido de arcilla el P disminuye, mientras que conforme aumenta la altitud el P, tiende a aumentar.

El PNBJ y la RBSM ($0.05 \text{ cmol}_+ \text{kg}^{-1}$) resultaron tener la menor cantidad del catión potasio y la más alta Zoquiapan ($0.77 \text{ cmol}_+ \text{kg}^{-1}$). El K intercambiable presenta relaciones significativas con la altitud y el P disponible, ya que conforme la altitud o el P aumenten el catión disminuye ($r = -0.5$, $p < 0.004$).

12. CONCLUSIONES

La densidad de fauna edáfica esta relacionada con parámetros que determinan la Calidad de suelo forestal, como los porcentajes de humedad, la arena, y valores de conductividad eléctrica, pH potencial y potasio intercambiable. De todos los organismos edáficos se halló que, los Colémbolos y Coleópteros, estuvieron relacionados estadísticamente con una mayor cantidad de variables indicadoras de la Calidad.

Los Ácaros al representar una parte muy importante de la fauna edáfica, tanto en número como por sus múltiples funciones que desempeñan en el suelo a lo largo de todo el año, estos organismos pueden ser buenos indicadores de perturbación y Calidad de suelo. Ya que se encontró que estos seres resultaron ser los más sensibles a las modificaciones en su medio, puesto que la mayoría de los sitios con uso agrícola, su presencia fue escasa. Por otro lado sus densidades máximas se hallaron en los bosques con las mejores condiciones. Sin embargo se requieren hacer estudios más específicos con estos organismos, que permitan relacionarlos de una mejor manera con una mayor cantidad de parámetros indicadores de Calidad de suelo.

La altitud y la vegetación influyeron en la abundancia de los organismos, ya que las densidades de fauna más altas, se hallaron entre los 2800 y 3400 m, que es donde se encontraron los bosque con mejor estado de conservación y desarrollo, lo cual permite que existan condiciones más estables de humedad, temperatura y alimento a lo largo de todo el tiempo, que favorece a la fauna edáfica.

Aunque no fue un objetivo estudiar la distribución anual de la densidad de fauna edáfica, las mayores cantidades de los organismos colectados se encontraron en la estación de otoño, lo cual es un aspecto a considerar en futuras investigaciones de la fauna edáfica en suelos de bosque en México.

13. LITERATURA CITADA

- Andrés P. and Mateos E., 2005, Soil mesofaunal responses to post-mining restoration treatments, Ed Applied Soil Ecology XXX, pp 1-12, www.elsevier.com/locate/apsoil
- Arbea J. I. y Blasco-Zumeta J., 2001, Ecología de los Colémbolos (Hexapoda, Collembola) en Los Monegros (Zaragoza, España), Aracnet 7 -Bol. S.E.A., nº 28 (2001) : pp 35-48
- Astudillo, B. Y., 2006. Fosfatasa ácida y alcalina del suelo y su efecto en la disponibilidad del P en suelos de Bosques templados de México, Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM.
- Bedano J. C., Cantu M. P. and Doucet M. C. 2005. Abundance of Soil Mites (Arácnida: Acari) in a Natural Soil of Central Argentina, Zoological Studies # 44(4), pp. 505-512
- Bernal Rojas A., (2006) "Artropodofauna Edáfica de una Finca Cafetalera al Sur del Estado de Oaxaca con énfasis en los Cryptostigmata y Collembola", Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias-UNAM
- Bishop J. y Landell-Mills N., 2003. Los servicios ambientales de los bosques información general, pp. 43-76, En Pagiola S., Bishop J., Landell-Mills N., La venta de Servicios Ambientales Forestales, edit. INE-SEMARNAT, México D.F., pp. 459
- Bray, R. & L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available phosphorus in soil. Soil Sci. 59: 39-45.
- Bremner, J. 1965. Total nitrogen. In: C. A. Black (ed.). Methods of soil analysis. Part 2, Agronomy 9. America Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. U. S. A. pp. 1149-1178.
- Burgues, A. y F. Raw. 1971. Biología del suelo, Ed. Omega, Barcelona, España, pp. 596
- Bohn, H.L, McNeal, B.L. y O'Connor, G.A. 1993. Química del suelo. Ed. Limusa. México.
- Buckman, H.O. y Brady, N.C. 1991. Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. Limusa, México.
- Cepeda, D.J.M. 1991. Química de suelos. Editorial Trillas. México.
- Challenger, A. 1998. Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México. Pasado Presente y Futuro. CONABIO, Instituto de Biología, UNAM y Agrupación Sierra Madre, S.C. México
- Challenger, A. 2003. Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. Editorial. Instituto Nacional de Ecología, México, Agrupación Sierra Madre S.C., D. F., pp. 315, sitio web <http://www.ne.gob.mx/publicaciones/libros/395/challenger/html>
- Chapman, H. D. & Pratt P. F. 1979. Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Aguas. Editorial Trillas. México D F.
- Chávez C. y Trigo B.N. 1996. Programa de manejo para el PN Iztaccihuatl y Popocatepetl. Colección ecología y planeación UAM-Xochimilco

- Coleman D.C., Blair J.M., Elliot E.T. and Wall D.H. 1999. Soil Invertebrates. In Robertson G.R., Coleman C.D., Bledsoe C.S. and Phillip S., Standard Soil Methods for long-term Ecological Research, Ed. Oxford University Press, New York, EEUU, pp 349-377
- Covarrubias Berrios, René. La pequeña fauna de artrópodos que vive dentro del suelo: Buscando en el Altiplano. *I+I Informes de Investigación N° 2*. Santiago, Octubre 2004, 9 págs. N° Inscripción 142.432. Disponible en http://www.umce.cl/~investi/i_mas_i_r_covarrubias.html
- Cruz-Flores G. 2006. Ecología del suelo. Un enfoque hacia la nutrición mineral de plantas superiores. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 106 p.
- Domínguez, R. y N. Aguilera. 1982. Metodología de análisis físicos y químicos de suelos. UNAM. Facultad de Ciencias-Biología. 34 pp.
- Domínguez, V. A., 1989. Tratado de fertilización. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Donahue, R.L., Milller, R.W y Shickluna, J.C. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Prentice/Hall. Nueva Zelanda.
- Doran, J. W. and T. B. Parkin. 1994. Defining and Assessing Soil Quality. pp. 3-22. In: Doran J., Coleman D, Bezdicek D. y Stewart B. (Ed.). SSSA Special Publication no. 35. Wisconsin, U.S.A.
- Doran, J. W. and Zeiss M. R., (2000). "Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality", Applied Soil Ecology # 15, pp. 3-11, www.elsevier.com/locate/apsoil
- Etchevers, J. D., Bautista M. A., y Vergara, M. A., 2000, Calidad del suelo, Indicadores de Calidad y Captura de Carbono, pp. 507-520, En Quintero R., Trujillo T. R., Corlay L., Ibañez A., García N. E., La Edafología y sus perspectivas al siglo XXI, Tomo II, Colegio de Postgraduados, UNAM, Universidad Autónoma de Chapingo, México, pp. 821
- Fassbender, H. W y E. Bornemisza. 1987. Química de suelos de América Latina. Ed. IICA San Jose, Costa Rica.
- Fränze O., 2006, "Complex Bioindication and Enviromental Stress Assessment", Ecological indicator núm. 6, pp. 114-136, www.elsevier.com/locate/ecolind
- Foth, H. D. y Turk, L. M. 1980. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. Continental. México.
- García H., S. 2003. Indicadores de calidad del suelo y estado nutrimental de *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. et Cham. en la exposición occidente de los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatépetl. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM.
- García, E. 1970. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México. México. 250 pp.
- Gavande, S. A. 1979. Física de suelos, principios y aplicaciones. Editorial Limusa. México D. F.
- Granados, D. M. R., 2003. Calidad del suelo y estado nutrimental del género *Pinus* en la vertiente occidental del Iztaccíhuatl y Popocatépetl, Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM.

- Hoffmann, A. 1988. Animales desconocidos relatos acarológicos, La ciencia/60 desde México, Ed. Fondo de cultura económica, México, D. F., pp. 127
- Honorato, P. R., 2000. Manual de Edafología. Ed. Alfaomega. 4ª ed. México.
- INE, (2000) “Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán México”, ed. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F.
- INE, (2001) “Programa De Manejo De La Reserva De La Biosfera Mariposa Monarca México”, ed. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F., pp. 159
- Jackson, M. L. 1964. Análisis químico de suelos. Traducción al español de J. Beltrán. Omega. Barcelona España.
- Jiménez G. C. P., Nava V. J. L., Valdéz R. M., Cruz R. G. (2001) “Descripción de la Mesofauna de los Parques Nacionales Izta-Popo y Zoquiapan y Anexas y su relación con los factores Fisicoquímicos del Suelo”, Reporte de Servicio Social, FES-Zaragoza, México, D.F.
- Killham K. 1995. Soil Ecology. Cambridge University Press. 242 p.
- Larochelle L., F. Pagé, C. J. Beauchamp y G. Lemieux, 1998. “Papel de la Mesofauna en la Dinámica de Transformación de la Materia Leñosa aplicada al Suelo”. AGROSOL N° 91, pp 2-16. <http://forestgeomat.for.ulaval.ca/brf>
- León, H. M., 2007. Estimación del contenido de C en suelos de bosques templados y su relación con la calidad del suelo, Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM.
- Linden D.R., P.f. Hendrix, D.C. Coleman and P.C. J. van Vliet. 1994. Faunal indicators of soil quality. In: Doran J. W., D. C. Coleman, D.F. Bezdicek and B. A. Stenart Ed. Pp. 91-106. Deffining soil quality for a sustainable environment. SSS Inc, ASA.Inc. Madison Wisconsin, USA. pp 91-106
- Massey University. 2006. Soil Bugs – An illustrated guide soil invertebrates, New Zealand, sitio Web: <http://soilbugs.massey.acnz/key.php>
- Norma Oficial Mexicana. NOM-001-ECOL-1996.
- Palmer, R. G. y Truch. 1989. Introducción a la Ciencia del Suelo. Manual de laboratorio AGT Eds. México.
- Parisi V. (1979) “Biología y Ecología del Suelo”, Ed. Blume, Barcelona, España
- Peredo P., Santiago Felipe, BARRERA S., Claudia Paz y PARADA Z, Esperanza. Efecto De Prácticas Agrícolas Convencionales sobre La Biodiversidad De Los Grupos Mesofaunísticos Edáficos En un Huerto de Ciruelos. Una Aproximación Agroecológica. Agro sur, jul. 2002, Vol. 30, No. 2, pp. 7-14. ISSN 0304-8802.
- Primavesi, A., 1982, Manejo ecológico del suelo, la agricultura en regiones tropicales, Ed. El ateneo, 5ª edición, Buenos Aires, Argentina, pp. 500
- Pritchett, W.L. 1991. Suelos forestales, propiedades, conservación y mejoramiento. Ed. Limusa. México.
- Rzedowski, J., 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa. México.

- Richards, L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6ª edición. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. LIMUSA. México.
- Russell E. J. y E. W, Russell, 1968, Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas, 9ª edición., Ed. Aguilar S. A., Madrid, España
- Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1978. Métodos para el análisis físico y químico de suelos, aguas y plantas, 2ª edición, Ed. Aspecto Editorial, México, pp. 221
- Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS). 1998. Manual de Procedimientos Analíticos para Análisis de Suelos y Plantas del Laboratorio de Fertilidad de Suelos. IRENAT-Colegio de Postgraduados. México.
- Torres Rojo, J. M. y Guevara Sanginés, A. (2007) “El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico”, ed. INE, México, D.F., Página web:
http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/63/cap3.html?id_pub=361&id_tema=13&dir=Consultas, Página consultada el 17 de junio de 2007
- Urbano Terrón, P. y Rojo Hernández C., (1992) “Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell”, ed. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España
- USDA – NRCS. 1998. Soil. Quality indicators: pH. Soil quality information sheet.
<http://soil.usda.gov/sqi/files/indicate.pdf>
- Valderrábano, G. J. M. 2005. Calidad del suelo y estado nutrimental de la vegetación forestal del Parque Nacional Zoquiapan y Anexas. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM.
- Vargas M. F. 1984. Parques Nacionales de México y Reservas Equivalentes. Pasado, presente y futuro. Colección: Grandes problemas Nacionales. Serie: Los Bosques de México. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. México,
- Vargas Márquez, Fernando, (1997) PARQUES NACIONALES DE MÉXICO: Aspectos físicos, sociales, legales, administrativos, recreativos, biológicos, culturales, situación actual y propuestas en torno a los parques nacionales de México, ed. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F.
- Vázquez García L y Villalobos A., (1987) “Zoología del Phylum Arthropoda”, ed. Nueva Editorial Interamericana, México, D.F.
- Young, R. A. 1991. Introducción a las ciencias forestales. Ed. Noriega Editores. México.

14. APENDICE

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE PEARSON

Simple Statistics

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
Pend	157	30.04459	13.84036	4717	10.00000	60.00000
ALT	252	2734	474.10946	688888	1818	3798
pHact	191	5.76455	0.66912	1101	3.79000	7.74000
pHpot	191	5.14853	0.61463	983.37000	3.21000	6.34000
Dap	191	0.92963	0.22401	177.56000	0.48000	1.49000
Dapc	131	0.67679	0.23941	88.66000	0.42000	1.44000
Denr	178	2.03843	0.30377	362.84000	1.27000	2.81000
eppro	172	53.12814	7.99119	9138	29.13000	68.09000
epcil	111	64.40216	11.53990	7149	2.00000	79.17000
Acarina	226	23.08850	31.21113	5218	1.00000	171.00000
Collembola	169	16.79290	21.00988	2838	1.00000	148.00000
Chilopoda	36	1.41667	0.96732	51.00000	1.00000	4.00000
Diptera	87	1.83908	1.10888	160.00000	1.00000	5.00000
Aranea	32	1.53125	0.50701	49.00000	1.00000	2.00000
Coleoptera	135	2.49630	1.88027	337.00000	1.00000	13.00000
Protura	25	2.56000	1.44568	64.00000	1.00000	4.00000
Diplura	12	1.00000	0	12.00000	1.00000	1.00000
Diplopoda	17	1.11765	0.33211	19.00000	1.00000	2.00000
Nematoda	63	1.63492	1.03646	103.00000	1.00000	7.00000
Anelida	69	2.01449	1.10471	139.00000	1.00000	5.00000
Hymeno	20	1.00000	0	20.00000	1.00000	1.00000
Nodet	116	3.19828	4.62361	371.00000	1.00000	38.00000
HUME	60	26.18283	12.12189	1571	5.36000	54.41000
Mos	71	11.28845	6.83500	801.48000	0.30000	28.76000
Ce	71	0.11168	0.08882	7.92900	0.02200	0.43600
limo	68	31.31662	13.08466	2130	6.00000	79.26000
arcilla	68	12.85441	10.09565	874.10000	2.56000	39.44000
arena	68	55.95059	18.59502	3805	6.90000	96.56000
ntotal	49	0.39143	0.43006	19.18000	0.02000	2.35000
Pdisp	58	167.32914	76.12093	9705	78.19000	430.11000
Kinter	33	3.67592	12.46822	121.30520	0.06620	52.00000

The CORR Procedure

Pearson Correlation Coefficients

Prob > |r| under H0: Rho=0

Number of Observations

	sitio	ANP	Pend	ALT	Gen	Esp	Ussue
Pend	-0.27296 0.0005 157	-0.65247 <.0001 157	1.00000 157	-0.36559 <.0001 149	-0.22052 0.0055 157	0.05468 0.4964 157	-0.31293 <.0001 157
ALT	0.22229 0.0004 252	-0.11819 0.0610 252	-0.36559 <.0001 149	1.00000 252	0.04130 0.5140 252	-0.08450 0.1812 252	0.14264 0.0235 252
pHact	-0.30299 <.0001 191	-0.24383 0.0007 191	-0.00848 0.9277 117	-0.17430 0.0186 182	-0.08869 0.2224 191	-0.12942 0.0744 191	-0.18598 0.0100 191
pHpot	-0.24120 0.0008 191	-0.06041 0.4064 191	-0.13648 0.1423 117	-0.26917 0.0002 182	-0.09958 0.1705 191	-0.08330 0.2519 191	-0.18331 0.0111 191
Dap	0.31181 <.0001 191	-0.63634 <.0001 191	0.19273 0.0399 114	-0.16235 0.0285 182	0.32386 <.0001 191	0.30134 <.0001 191	0.23816 0.0009 191

Dapc	0.29444 0.0006 131	-0.51780 <.0001 131	0.23239 0.0303 87	-0.00829 0.9269 125	0.48713 <.0001 131	0.37556 <.0001 131	0.41456 <.0001 131
Denr	0.50306 <.0001 178	-0.61558 <.0001 178	0.02801 0.7704 111	0.02633 0.7340 169	0.22420 0.0026 178	0.18522 0.0133 178	0.22831 0.0022 178
eppro	-0.09926 0.1951 172	0.25289 0.0008 172	-0.24782 0.0097 108	0.23070 0.0030 163	-0.23962 0.0015 172	-0.24406 0.0013 172	-0.10431 0.1733 172
epcil	-0.21273 0.0250 111	0.34207 0.0002 111	-0.46843 <.0001 74	0.11845 0.2288 105	-0.44683 <.0001 111	-0.40037 <.0001 111	-0.34724 0.0002 111
Acarina	-0.32245 <.0001 226	0.10756 0.1068 226	-0.13959 0.1104 132	0.16040 0.0178 218	-0.09832 0.1406 226	-0.12916 0.0525 226	-0.17919 0.0069 226
Collembola	-0.03030 0.6957 169	-0.13366 0.0832 169	-0.10501 0.3508 81	0.10180 0.1988 161	0.04877 0.5289 169	-0.00558 0.9426 169	-0.05037 0.5155 169
	pHact	pHpot	Dap	Dapc	Denr	eppro	epcil
Pend	-0.00848 0.9277 117	-0.13648 0.1423 117	0.19273 0.0399 114	0.23239 0.0303 87	0.02801 0.7704 111	-0.24782 0.0097 108	-0.46843 <.0001 74
ALT	-0.17430 0.0186 182	-0.26917 0.0002 182	-0.16235 0.0285 182	-0.00829 0.9269 125	0.02633 0.7340 169	0.23070 0.0030 163	0.11845 0.2288 105
pHact	1.00000 191	0.87374 <.0001 191	-0.00834 0.9118 179	-0.09932 0.2867 117	-0.18017 0.0187 170	0.00656 0.9335 164	0.03740 0.7063 104
pHpot	0.87374 <.0001 191	1.00000 191	-0.08103 0.2809 179	-0.30397 0.0009 117	-0.33021 <.0001 170	-0.01963 0.8030 164	0.21994 0.0249 104
Dap	-0.00834 0.9118 179	-0.08103 0.2809 179	1.00000 191	0.74623 <.0001 121	0.71648 <.0001 172	-0.68719 <.0001 172	-0.53221 <.0001 110
Dapc	-0.09932 0.2867 117	-0.30397 0.0009 117	0.74623 <.0001 121	1.00000 131	0.63762 <.0001 112	-0.46382 <.0001 112	-0.88124 <.0001 110
Denr	-0.18017 0.0187 170	-0.33021 <.0001 170	0.71648 <.0001 172	0.63762 <.0001 112	1.00000 178	-0.13236 0.0844 171	-0.24798 0.0090 110
epcil	0.03740 0.7063 104	0.21994 0.0249 104	-0.53221 <.0001 110	-0.88124 <.0001 110	-0.24798 0.0090 110	0.49325 <.0001 110	1.00000 111
Acarina	0.10130 0.2054 158	0.13335 0.0949 158	-0.12562 0.1158 158	-0.27907 0.0029 112	-0.23395 0.0042 148	-0.07706 0.3620 142	0.22091 0.0343 92
Collembola	0.22705 0.0126 120	0.27905 0.0020 120	0.13853 0.1330 119	-0.10668 0.3432 81	0.04837 0.6077 115	-0.13481 0.1642 108	0.12864 0.2995 6

	Acarina	Collembola	Chilopoda	Diptera	Aranea	Coleoptera	Protura
Pend	-0.13959 0.1104 132	-0.10501 0.3508 81	0.77006 <.0001 29	0.00336 0.9833 41	0.33806 0.0629 31	0.25490 0.0474 61	. . 11
ALT	0.16040 0.0178 218	0.10180 0.1988 161	-0.38765 0.0415 28	-0.16714 0.1409 79	-0.07188 0.7386 24	-0.14376 0.1069 127	-0.31130 0.2239 17
Ussue	-0.17919 0.0069 226	-0.05037 0.5155 169	-0.07384 0.6687 36	-0.12365 0.2539 87	0.16871 0.3560 32	-0.06726 0.4383 135	. . 25
pHact	0.10130 0.2054 158	0.22705 0.0126 120	-0.21584 0.2608 29	0.02947 0.8143 66	-0.22872 0.3772 17	0.03984 0.7046 93	0.31698 0.2151 17
pHpot	0.13335 0.0949 158	0.27905 0.0020 120	-0.38034 0.0418 29	0.07422 0.5537 66	-0.08423 0.7479 17	0.22904 0.0272 93	0.56404 0.0184 17
Dap	-0.12562 0.1158 158	0.13853 0.1330 119	0.49555 0.0054 30	-0.08524 0.4962 66	0.90677 <.0001 17	-0.03190 0.7680 88	-0.08075 0.7501 18
Dapc	-0.27907 0.0029 112	-0.10668 0.3432 81	0.56550 0.0116 19	-0.39795 0.0091 42	0.63862 0.0043 18	-0.18489 0.1469 63	-0.63431 0.0199 13
Denr	-0.23395 0.0042 148	0.04837 0.6077 115	0.33864 0.0779 28	-0.32376 0.0140 57	0.37189 0.1416 17	0.10086 0.3613 84	-0.61353 0.0068 18
eppro	-0.07706 0.3620 142	-0.13481 0.1642 108	-0.14338 0.4667 28	-0.44437 0.0008 54	-0.45829 0.0643 17	-0.07895 0.4892 79	-0.54156 0.0203 18
epcil	0.22091 0.0343 92	0.12864 0.2995 67	-0.76370 0.0002 18	0.10355 0.5539 35	-0.32666 0.3269 11	0.15115 0.3051 48	0.13828 0.6523 13
Acarina	1.00000 . 226	0.40878 <.0001 163	-0.10463 0.5437 36	0.04158 0.7038 86	0.19614 0.2820 32	0.06734 0.4412 133	0.33445 0.1022 25
Collembola	0.40878 <.0001 163	1.00000 . 169	-0.02051 0.9175 28	-0.22056 0.0646 71	-0.19153 0.3020 31	0.01190 0.8965 122	0.55603 0.0039 25
	pHact	pHpot	Dap	Dapc	Denr	eppro	epcil
Chilopoda	-0.21584 0.2608 29	-0.38034 0.0418 29	0.49555 0.0054 30	0.56550 0.0116 19	0.33864 0.0779 28	-0.14338 0.4667 28	-0.76370 0.0002 18
Diptera	0.02947 0.8143 66	0.07422 0.5537 66	-0.08524 0.4962 66	-0.39795 0.0091 42	-0.32376 0.0140 57	-0.44437 0.0008 54	0.10355 0.5539 35
Aranea	-0.22872 0.3772 17	-0.08423 0.7479 17	0.90677 <.0001 17	0.63862 0.0043 18	0.37189 0.1416 17	-0.45829 0.0643 17	-0.32666 0.3269 11
Coleoptera	0.03984 0.7046 93	0.22904 0.0272 93	-0.03190 0.7680 88	-0.18489 0.1469 63	0.10086 0.3613 84	-0.07895 0.4892 79	0.15115 0.3051 48

	pHact	pHpot	Dap	Dapc	Denr	eppro	epcil
Anelida	0.00193 0.9889 54	0.09031 0.5160 54	0.07554 0.5800 56	0.25436 0.1233 38	-0.31511 0.0310 47	-0.20699 0.1675 46	-0.28150 0.1250 31
Nodet	-0.01280 0.9086 83	0.01485 0.8940 83	-0.27562 0.0133 80	-0.18223 0.1400 67	-0.41564 0.0004 68	0.09876 0.4302 66	-0.64727 <.0001 49
	Acarina	Collembola	Chilopoda	Diptera	Aranea	Coleoptera	Protura
Nodet	-0.08373 0.3779 113	-0.02118 0.8421 91	0.80178 0.0053 10	0.10915 0.4652 47	0.78856 0.0014 13	0.53231 <.0001 84	0.46291 0.1516 11
	ActUrea	Fac	Fal	Acarina	Collembola	Chilopoda	Diptera
Pend	0.08549 0.4230 90	-0.19310 0.0484 105	0.52320 <.0001 105	-0.13959 0.1104 132	-0.10501 0.3508 81	0.77006 <.0001 29	0.00336 0.9833 41
ALT	-0.42347 <.0001 169	0.43188 <.0001 169	-0.55566 <.0001 169	0.16030 0.0179 218	0.10346 0.1887 163	-0.38765 0.0415 28	-0.16064 0.1546 80
Ussue	-0.25468 0.0006 178	0.12811 0.0866 180	-0.43402 <.0001 180	-0.17966 0.0068 226	-0.06074 0.4300 171	-0.07384 0.6687 36	-0.13523 0.2090 88
Acarina	0.18452 0.0173 166	0.13682 0.0752 170	0.06103 0.4292 170	1.00000 0.226 226	0.41035 <.0001 164	-0.10463 0.5437 36	0.04158 0.7038 86
Collembola	0.00165 0.9852 129	0.17008 0.0611 122	-0.10938 0.2304 122	0.41035 <.0001 164	1.00000 0.171 171	-0.02051 0.9175 28	-0.20848 0.0789 72
Chilopoda	-0.17205 0.4439 22	-0.19314 0.3659 24	0.11072 0.6065 24	-0.10463 0.5437 36	-0.02051 0.9175 28	1.00000 0.36 36	0.18311 0.4530 19
Coleoptera	0.18938 0.0554 103	-0.21662 0.0340 96	0.47171 <.0001 96	0.06877 0.4298 134	0.01772 0.8451 124	-0.60048 0.0066 19	0.07799 0.5502 61
	sitio	ANP	Pend	ALT	Gen	Esp	Ussue
Nematoda	0.00695 0.9565 64	-0.17093 0.1769 64	0.24501 0.4198 13	-0.24718 0.0489 64	-0.05943 0.6409 64	0.02282 0.8579 64	-0.12030 0.3437 64
	ActUrea	Fac	Fal	Acarina	Collembola	Chilopoda	Diptera
Nodet	0.61421 <.0001 83	-0.31115 0.0047 81	0.53357 <.0001 81	-0.05618 0.5563 112	-0.01357 0.8978 92	0.80178 0.0053 10	0.12895 0.3824 48

	sitio	ANP	Pend	ALT	Gen	Esp	Ussue	HUMe
Pend	-0.25939	-0.66233	1.00000	-0.37021	-0.25397	0.04469	-0.29125	-0.29071
	0.0210	<.0001		0.0011	0.0239	0.6957	0.0092	0.0652
	79	79	79	75	79	79	79	41
ALT	0.21043	-0.12559	-0.37021	1.00000	0.03505	-0.08404	0.13203	0.41816
	0.0180	0.1612	0.0011		0.6968	0.3495	0.1406	0.0012
	126	126	75	126	126	126	126	57
HUMe	0.55065	-0.16936	-0.29071	0.41816	-0.05408	-0.04296	0.08430	1.00000
	<.0001	0.1958	0.0652	0.0012	0.6815	0.7445	0.5219	
	60	60	41	57	60	60	60	60
Mos	-0.54372	0.42797	-0.03841	0.04943	-0.25489	-0.21774	-0.25399	-0.33362
	<.0001	0.0002	0.7977	0.6890	0.0319	0.0681	0.0326	0.0120
	71	71	47	68	71	71	71	56
Ce	0.26262	-0.13767	-0.04974	0.05285	0.19168	0.18177	0.04273	0.21381
	0.0269	0.2523	0.7399	0.6686	0.1093	0.1292	0.7235	0.1136
	71	71	47	68	71	71	71	56
limo	0.05735	0.26615	-0.29554	-0.23724	-0.05447	-0.03689	0.04338	0.10349
	0.6423	0.0283	0.0487	0.0571	0.6591	0.7652	0.7254	0.4987
	68	68	45	65	68	68	68	45
arcilla	-0.21938	0.31119	-0.29249	-0.31968	-0.21371	-0.13615	-0.11508	-0.12210
	0.0723	0.0098	0.0512	0.0094	0.0801	0.2683	0.3501	0.4243
	68	68	45	65	68	68	68	45
arena	0.07152	-0.34842	0.36016	0.34847	0.14871	0.10281	0.03249	-0.00529
	0.5622	0.0036	0.0151	0.0044	0.2262	0.4041	0.7925	0.9725
	68	68	45	65	68	68	68	45
ntotal	-0.36775	0.40569	-0.46138	0.28927	-0.17331	-0.14670	-0.16576	-0.07801
	0.0093	0.0038	0.0177	0.0512	0.2337	0.3145	0.2550	0.6369
	49	49	26	46	49	49	49	39
Pdisp	0.44443	-0.30332	-0.00287	0.29092	0.26879	0.27494	0.38617	0.23466
	0.0005	0.0206	0.9876	0.0312	0.0413	0.0367	0.0028	0.1252
	58	58	32	55	58	58	58	44
Kinter	-0.50331	0.20750	0.60222	-0.50369	-0.16914	-0.11341	-0.18481	0.25254
	0.0028	0.2466	0.1141	0.0045	0.3467	0.5298	0.3032	0.2233
	33	33	8	30	33	33	33	25
	Mos	Ce	limo	arcilla	arena	ntotal	Pdisp	Kinter
Pend	-0.03841	-0.04974	-0.29554	-0.29249	0.36016	-0.46138	-0.00287	0.60222
	0.7977	0.7399	0.0487	0.0512	0.0151	0.0177	0.9876	0.1141
	47	47	45	45	45	26	32	8
ALT	0.04943	0.05285	-0.23724	-0.31968	0.34847	0.28927	0.29092	-0.50369
	0.6890	0.6686	0.0571	0.0094	0.0044	0.0512	0.0312	0.0045
	68	68	65	65	65	46	55	30
HUMe	-0.33362	0.21381	0.10349	-0.12210	-0.00529	-0.07801	0.23466	0.25254
	0.0120	0.1136	0.4987	0.4243	0.9725	0.6369	0.1252	0.2233
	56	56	45	45	45	39	44	25
Mos	1.00000	0.16852	0.05262	0.22770	-0.15755	0.74755	-0.14077	-0.12765
		0.1632	0.6948	0.0856	0.2376	<.0001	0.3007	0.5015
	71	70	58	58	58	48	56	30
Ce	0.16852	1.00000	0.00643	-0.13041	0.06069	0.11517	-0.07254	0.43612
	0.1632		0.9621	0.3336	0.6538	0.4408	0.5952	0.0160
	70	71	57	57	57	47	56	30

limo	0.05262	0.00643	1.00000	0.26615	-0.85236	0.00589	-0.07353	0.17522
	0.6948	0.9621		0.0282	<.0001	0.9712	0.6272	0.4731
	58	57	68	68	68	40	46	19
arcilla	0.22770	-0.13041	0.26615	1.00000	-0.72622	0.43268	-0.27864	0.19506
	0.0856	0.3336	0.0282		<.0001	0.0053	0.0608	0.4236
	58	57	68	68	68	40	46	19
arena	-0.15755	0.06069	-0.85236	-0.72622	1.00000	-0.19132	0.17098	-0.18624
	0.2376	0.6538	<.0001	<.0001		0.2370	0.2559	0.4452
	58	57	68	68	68	40	46	19
ntotal	0.74755	0.11517	0.00589	0.43268	-0.19132	1.00000	-0.14863	-0.06893
	<.0001	0.4408	0.9712	0.0053	0.2370		0.3242	0.7274
	48	47	40	40	40	49	46	28
Pdisp	-0.14077	-0.07254	-0.07353	-0.27864	0.17098	-0.14863	1.00000	-0.49965
	0.3007	0.5952	0.6272	0.0608	0.2559	0.3242		0.0042
	56	56	46	46	46	46	58	31
	Acarina	Collembola	Chilopoda	Diptera	Aranea	Coleoptera	Protura	
HUMe	0.05431	0.07391	0.00827	0.23855	0.26470	-0.13724	-0.87922	
	0.7080	0.6592	0.9845	0.2850	0.4913	0.4696	0.0091	
	50	38	8	22	9	30	7	
Mos	0.12280	-0.09486	-0.32605	-0.15110	-0.80446	0.04346	0.30103	
	0.3628	0.5354	0.3278	0.4519	0.0161	0.8013	0.5118	
	57	45	11	27	8	36	7	
Ce	-0.24900	0.43588	-0.42491	-0.11913	-0.44663	0.40483	-0.24989	
	0.0618	0.0031	0.1927	0.5621	0.2673	0.0159	0.5889	
	57	44	11	26	8	35	7	
limo	-0.04672	-0.30341	0.07636	0.06972	-0.16813	0.35434	-0.89907	
	0.7373	0.0479	0.8234	0.7519	0.6906	0.0466	0.0059	
	54	43	11	23	8	32	7	
arcilla	-0.05239	-0.32401	0.12661	0.11047	-0.36048	-0.30315	0.16508	
	0.7068	0.0340	0.7107	0.6158	0.3804	0.0917	0.7235	
	54	43	11	23	8	32	7	
arena	0.07065	0.39555	-0.14314	-0.06317	0.28981	-0.07796	0.49036	
	0.6117	0.0087	0.6746	0.7746	0.4863	0.6715	0.2639	
	54	43	11	23	8	32	7	
ntotal	0.16614	-0.11374	.	-0.21568	-0.49285	0.00687	-1.00000	
	0.2811	0.5027	.	0.3611	0.2611	0.9723	<.0001	
	44	37	5	20	7	28	5	

	sitio	ANP	Pend	ALT	Gen	Esp	Ussue	HUMe
Acarina	-0.38495	0.13336	-0.16873	0.15071	-0.09139	-0.12882	-0.21339	0.05431
	<.0001	0.1591	0.1756	0.1178	0.3357	0.1739	0.0232	0.7080
	113	113	66	109	113	113	113	50
Collembola	0.03197	-0.12103	-0.25974	0.11980	0.04152	-0.01735	-0.05445	0.07391
	0.7688	0.2641	0.0967	0.2807	0.7026	0.8733	0.6164	0.6592
	87	87	42	83	87	87	87	38
Diptera	0.17848	0.29306	0.03717	-0.03911	-0.01020	-0.04583	-0.03035	0.23855
	0.2464	0.0535	0.8600	0.8107	0.9476	0.7677	0.8449	0.2850
	44	44	25	40	44	44	44	22
Coleopter	-0.12241	-0.02381	0.16287	-0.39366	-0.23876	-0.08037	-0.27837	-0.13724
	0.3127	0.8449	0.3731	0.0011	0.0465	0.5084	0.0196	0.4696
	70	70	32	66	70	70	70	30
Nematoda	-0.14835	-0.15898	0.52447	0.00539	0.27511	0.24114	0.13030	-0.19886
	0.4340	0.4014	0.0977	0.9783	0.1412	0.1992	0.4925	0.5355
	30	30	11	28	30	30	30	12
Hymeno	-0.25873	0.14595	0.11029	-0.18965	-0.16287	-0.08293	-0.16198	-0.16385
	0.0423	0.2577	0.5282	0.1467	0.2059	0.5217	0.2085	0.3702
	62	62	35	60	62	62	62	32
Nodet	0.98881	-0.19819	-0.25030	0.21242	0.47546	0.41885	0.51286	0.55075
	<.0001	0.0227	0.0261	0.0169	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
	132	132	79	126	132	132	132	60
	Mos	Ce	limo	arcilla	arena	ntotal	Pdisp	Kinter
Acarina	0.12280	-0.24900	-0.04672	-0.05239	0.07065	0.16614	-0.08107	0.06607
	0.3628	0.0618	0.7373	0.7068	0.6117	0.2811	0.5880	0.7240
	57	57	54	54	54	44	47	31
Collembola	-0.09486	0.43588	-0.30341	-0.32401	0.39555	-0.11374	-0.18468	-0.23149
	0.5354	0.0031	0.0479	0.0340	0.0087	0.5027	0.2539	0.2270
	45	44	43	43	43	37	40	29
Diptera	-0.15110	-0.11913	0.06972	0.11047	-0.06317	-0.21568	-0.01146	0.04541
	0.4519	0.5621	0.7519	0.6158	0.7746	0.3611	0.9618	0.8723
	27	26	23	23	23	20	20	15
Coleopter	0.04346	0.40483	0.35434	-0.30315	-0.07796	0.00687	-0.29959	0.42199
	0.8013	0.0159	0.0466	0.0917	0.6715	0.9723	0.1016	0.0400
	36	35	32	32	32	28	31	24
Nematoda	0.06883	-0.46115	-0.49296	-0.08623	0.50425	0.07517	0.01496	0.43372
	0.7861	0.0469	0.0524	0.7508	0.0464	0.7743	0.9515	0.1387
	18	19	16	16	16	17	19	13
Nodet	-0.54365	0.26271	0.05651	-0.21515	0.07008	-0.36784	0.44430	-0.73350
	<.0001	0.0269	0.6471	0.0781	0.5701	0.0093	0.0005	<.0001
	71	71	68	68	68	49	58	33

	Acarina	Collembola	Chilopoda	Diptera	Aranea	Coleopter	Protura
Acarina	1.00000	0.36787	-0.16812	0.01192	-0.06324	-0.03630	0.02164
		0.0006	0.5049	0.9395	0.8031	0.7688	0.9468
	113	84	18	43	18	68	12
Collembola	0.36787	1.00000	-0.38364	-0.13522	-0.37360	0.00872	0.23902
	0.0006		0.1757	0.4317	0.1267	0.9459	0.4543
	84	87	14	36	18	63	12
Diptera	0.01192	-0.13522	-0.11396	1.00000	0.91856	0.19533	0.85656
	0.9395	0.4317	0.7244		0.0002	0.3192	0.0016
	43	36	12	44	10	28	10
Coleopter	-0.03630	0.00872	0.25000	0.19533	-0.45644	1.00000	0.02322
	0.7688	0.9459	0.4860	0.3192	0.1848		0.9429
	68	63	10	28	10	70	12
Nematoda	0.24548	0.13333	.	0.22048	1.00000	-0.24029	1.00000
	0.1910	0.5161	.	0.4488	<.0001	0.2580	<.0001
	30	26	6	14	4	24	4
Nodet	-0.37219	0.05320	-0.33558	0.16489	-0.22586	-0.15451	-0.80021
	<.0001	0.6246	0.1734	0.2848	0.3675	0.2016	0.0018
	113	87	18	44	18	70	12

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

	Observations					
	Variables					
	45					
	12					
Simple Statistics						
Pend	ALT	Dap	Dapc	Denr	eppro	
Mean	26.60000000	2968.977778	0.8788888889	0.6417777778	1.969555556	54.67666667
Std	13.07391574	615.005487	0.2251183751	0.1958349130	0.290547724	8.86246605
Simple Statistics						
epcil	HUMe	Ce	limo	arcilla	arena	
Mean	67.04111111	22.40822222	0.0896666667	32.97644444	13.30844444	53.71555556
Std	9.19594778	10.53783687	0.0534287971	13.64342068	10.63326042	18.16035687
Correlation Matrix						
Pend	ALT	Dap	Dapc	Denr	eppro	
Pend	1.0000	-.3452	0.3266	0.2677	0.0370	-.4694
ALT	-.3452	1.0000	-.2929	-.1559	0.1416	0.4451
Dap	0.3266	-.2929	1.0000	0.7280	0.6532	-.6859
Dapc	0.2677	-.1559	0.7280	1.0000	0.5811	-.4433
Denr	0.0370	0.1416	0.6532	0.5811	1.0000	-.1586
eppro	-.4694	0.4451	-.6859	-.4433	-.1586	1.0000
epcil	-.3858	0.2737	-.5507	-.8192	-.1090	0.5367
HUMe	-.4097	0.3550	-.4176	-.2557	-.1452	0.3912
Ce	-.1156	0.2240	-.3754	0.0060	-.1693	0.2922
limo	-.2292	-.2509	0.0165	0.1217	0.0684	0.037

Correlation Matrix

	epcil	HUMe	Ce	limo	arcilla	arena
Pend	-.3858	-.4097	-.1156	-.2292	-.1061	0.2343
ALT	0.2737	0.3550	0.2240	-.2509	-.5270	0.4971
Dap	-.5507	-.4176	-.3754	0.0165	-.1979	0.1034
Dapc	-.8192	-.2557	0.0060	0.1217	-.1672	0.0065
Denr	-.1090	-.1452	-.1693	0.0684	-.3592	0.1589
eppro	0.5367	0.3912	0.2922	0.0373	0.0060	-.0315
epcil	1.0000	0.2465	-.0292	-.0382	0.0184	0.0179
HUMe	0.2465	1.0000	0.1878	0.3036	-.0177	-.2178
Ce	-.0292	0.1878	1.0000	0.0924	0.0928	-.1238
limo	-.0382	0.3036	0.0924	1.0000	0.1054	-.8130

The PRINCOMP Procedure

Correlation Matrix

	Pend	ALT	Dap	Dapc	Denr	eppro
arcilla	-.1061	-.5270	-.1979	-.1672	-.3592	0.0060
arena	0.2343	0.4971	0.1034	0.0065	0.1589	-.0315

Correlation Matrix

	epcil	HUMe	Ce	limo	arcilla	arena
arcilla	0.0184	-.0177	0.0928	0.1054	1.0000	-.6647
arena	0.0179	-.2178	-.1238	-.8130	-.6647	1.0000

Eigenvalues of the Correlation Matrix

	Autovalor	Diferencia	Proporción	Acumulada
1	3.85461091	1.28195050	0.3212	0.3212
2	2.57266042	0.82229758	0.2144	0.5356
3	1.75036284	0.54830034	0.1459	0.6815
4	1.20206250	0.44088944	0.1002	0.7816
5	0.76117306	0.12266121	0.0634	0.8451
6	0.63851185	0.18509304	0.0532	0.8983
7	0.45341881	0.03800346	0.0378	0.9361
8	0.41541535	0.19882797	0.0346	0.9707
9	0.21658738	0.11764778	0.0180	0.9887
10	0.09893960	0.06268233	0.0082	0.9970
11	0.03625727	0.03625727	0.0030	1.0000
12	0.00000000		0.0000	1.0000

Eigenvectors

	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5	Prin6
Pend	-.297098	0.036100	-.335907	0.206847	-.332833	0.536990
ALT	0.204204	0.451429	0.289089	0.127805	-.015276	-.139919
Dap	-.458835	0.008718	0.161356	-.201550	0.086576	-.085704
Dapc	-.406567	-.033376	0.338514	0.253042	0.127868	-.148796
Denr	-.257614	0.170881	0.442154	-.280185	0.386745	0.213903
eppro	0.397394	0.102461	0.148602	0.042847	0.278669	0.153741
epcil	0.372509	0.113241	-.091299	-.453844	0.171085	0.357592
HUMe	0.292985	-.039061	0.351635	0.042181	-.525751	-.328385
Ce	0.167019	-.045015	0.161349	0.725564	0.280786	0.306918
limo	0.044298	-.417788	0.436365	-.123579	-.278590	0.377930
arcilla	0.089884	-.467051	-.255174	0.039363	0.417766	-.335914
arena	-.085909	0.587335	-.178436	0.069784	-.035346	-.087250

Sistema SAS

The PRINCOMP Procedure

Eigenvectors

	Prin7	Prin8	Prin9	Prin10	Prin11	Prin12
Pend	0.490549	-.178174	0.271230	0.085309	0.049468	0.000020
ALT	-.052352	0.082857	0.775303	0.140411	0.066177	0.000012
Dap	0.044711	0.197150	-.097449	0.804286	0.103228	0.000033
Dapc	0.038186	-.267928	-.038997	-.293502	0.674958	-.000020
Denr	0.397351	0.067820	0.007538	-.310506	-.419697	0.000035
eppro	0.104630	-.737407	-.169276	0.350065	-.021245	0.000018
epcil	0.160948	0.313734	-.054428	-.032667	0.590423	-.000001
HUMe	0.573262	0.112899	-.244215	0.036989	0.023945	0.000022
Ce	0.014676	0.434417	-.201326	0.119613	-.028095	0.000025
limo	-.285313	-.039009	0.133387	0.024566	-.011341	0.543979
arcilla	0.384779	0.028028	0.298454	0.042444	0.016140	0.424001
arena	-.011022	0.012878	-.274970	-.043358	-.000897	0.724093

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Observations 14
Variables 12

Simple Statistics

	Pend	ALT	ANP	pHact	pHpot	Mos
Mean	31.14285714	2820.857143	4.714285714	5.553571429	4.955714286	11.13857143
Std	13.38688878	709.184457	1.437335753	0.510574445	0.571014135	5.33432406

Simple Statistics

	ntotal	Pdisp	Kinter	ActUrea	Fac	Fal
Mean	0.2750000000	209.8657143	0.2563071429	0.0033592792	0.0149289264	0.0052150119
Std	0.1787025892	103.1386880	0.2248157826	0.0052197831	0.0290290171	0.0071504678

Correlation Matrix

	Pend	ALT	ANP	pHact	pHpot	Mos
Pend	1.0000	-.9392	-.5574	0.5756	0.1405	0.1422
ALT	-.9392	1.0000	0.4659	-.7205	-.3878	-.1480
ANP	-.5574	0.4659	1.0000	-.7280	-.3643	0.1261
pHact	0.5756	-.7205	-.7280	1.0000	0.8077	0.0007
pHpot	0.1405	-.3878	-.3643	0.8077	1.0000	-.2032
Mos	0.1422	-.1480	0.1261	0.0007	-.2032	1.0000
ntotal	-.8421	0.7269	0.6499	-.5404	-.2171	-.0186
Pdisp	-.6509	0.7487	0.6568	-.8288	-.4353	-.1023
Kinter	-.5629	0.7185	-.2324	-.2761	-.1501	-.3406
ActUrea	0.4469	-.6819	-.0986	0.6432	0.7598	-.1513
Fac	-.1402	0.2524	-.7279	0.2912	0.1921	-.2724
Fal	0.7150	-.8321	-.2081	0.5891	0.3909	0.2725

Correlation Matrix

	ntotal	Pdisp	Kinter	Urea	Fac	Fal
Pend	-.8421	-.6509	-.5629	0.4469	-.1402	0.7150
ALT	0.7269	0.7487	0.7185	-.6819	0.2524	-.8321
ANP	0.6499	0.6568	-.2324	-.0986	-.7279	-.2081
pHact	-.5404	-.8288	-.2761	0.6432	0.2912	0.5891
pHpot	-.2171	-.4353	-.1501	0.7598	0.1921	0.3909

Mos	-.0186	-.1023	-.3406	-.1513	-.2724	0.2725
ntotal	1.0000	0.4186	0.2728	-.3526	-.0928	-.4998
Pdisp	0.4186	1.0000	0.4063	-.4399	-.1569	-.5877
Kinter	0.2728	0.4063	1.0000	-.6293	0.8048	-.7512

Correlation Matrix

	ntotal	Pdisp	Kinter	Act	Urea	Fac	Fal
ActUrea	-.3526	-.4399	-.6293	1.0000	-.3477	0.6068	
Fac	-.0928	-.1569	0.8048	-.3477	1.0000	-.3966	
Fal	-.4998	-.5877	-.7512	0.6068	-.3966	1.0000	

Eigenvalues of the Correlation Matrix

	Autovalor	Diferencia	Proporción	Acumulada
1	5.92185570	3.12215916	0.4935	0.4935
2	2.79969654	1.27175999	0.2333	0.7268
3	1.52793655	0.61340343	0.1273	0.8541
4	0.91453313	0.43633036	0.0762	0.9303
5	0.47820276	0.25285933	0.0399	0.9702
6	0.22534343	0.14673984	0.0188	0.9890
7	0.07860360	0.04541057	0.0066	0.9955
8	0.03319303	0.01839903	0.0028	0.9983
9	0.01479400	0.00964112	0.0012	0.9995
10	0.00515288	0.00455140	0.0004	0.9999
11	0.00060147	0.00051456	0.0001	1.0000
12	0.00008691		0.0000	1.0000

Eigenvectors

	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5	Prin6
Pend	0.354851	-.033037	-.334144	-.262609	-.039978	-.062347
ALT	-.396506	0.090073	0.107342	0.109731	0.086029	0.086564
ANP	-.232266	-.464712	0.219192	-.008698	0.021903	0.007746
pHact	0.354415	0.228949	0.168500	0.246537	0.024867	-.047156
pHpot	0.237757	0.175981	0.562511	0.199537	0.331616	0.060426
Mos	0.044575	-.247635	-.394495	0.725584	0.424922	-.199727
ntotal	-.297966	-.114429	0.308074	0.402270	-.496018	0.102678
Pdisp	-.333312	-.132380	0.057618	-.292022	0.633395	0.172486
Kinter	-.259966	0.447354	-.030396	-.015657	0.162072	0.169287
ActUrea	0.303174	-.124390	0.472509	-.127736	0.155989	-.314863
Fac	-.043623	0.583766	-.074045	0.141695	0.034578	0.079109
Fal	0.342797	-.207674	-.021048	0.090086	0.018840	0.876610

Eigenvectors

	Prin7	Prin8	Prin9	Prin10	Prin11	Prin12
Pend	0.420259	-.233367	0.105464	-.037992	0.341066	0.571768
ALT	-.338490	0.303240	-.107418	0.166752	0.076095	0.737934
ANP	-.085786	-.042266	0.276247	0.137646	0.735266	-.190824
pHact	-.173709	-.355201	0.114237	0.748411	-.009745	0.018748
pHpot	-.094753	-.283664	0.147724	-.548259	0.071816	0.160119
Mos	0.138814	0.112628	0.022397	-.040232	-.003037	0.007615
ntotal	0.535439	-.232014	-.117984	0.024671	-.118440	0.125426
Pdisp	0.267360	-.361776	-.288060	0.204249	-.155777	-.022689
Kinter	0.354980	0.230319	0.694253	0.090600	-.039324	-.073466
ActUrea	0.369790	0.577428	-.152786	0.187622	-.023463	0.017218
Fac	0.145848	0.081186	-.510218	-.021543	0.540012	-.209854
Fal	0.028672	0.233897	-.055673	0.057260	-.000962	-.009729