



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores
Zaragoza

**Actividad ureasa del suelo y la dinámica de C y N en
bosques templados de México**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G O

PRESENTA

Alejandra Corona Ramos

Director: Dr. Gerardo Cruz Flores

Proyecto Apoyado por la DGAPA UNAM, PAPIT IN22840

MÉXICO, D. F.

ENERO 2007





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Dedicatoria

A mi madre, *Oliva Ramos Sandoval*. Por ser la mujer más maravillosa del mundo y por quien luchare tan fuerte como ella lo ha hecho siempre por mí. Gracias por tu confianza y por creer en mí.

A mi padre, *Jesús Corona Guzmán*. Ese hombre que toda mi vida me ha cuidado y el cual me ha hecho mucha falta, pero se que desde donde este él se sentirá orgulloso de mí.



A mi familia por ser el eje fundamental en mi vida y por la oportunidad de tener a seres tan maravillosos con quien compartir lo que aspiro ser.

Agradecimientos

De antemano a la vida por darme la oportunidad de existir y esperando que mis conocimientos basados en la biología en un futuro puedan ayudar un poco al entendimiento del complejo mundo del suelo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por mi formación universitaria que logre con esfuerzo y dedicación después de muchos intentos por ser parte de su matrícula.

A mi hermana, Araceli Corona Ramos. Por que siempre hemos compartido lo más grande que existe en nuestras vidas, nuestra familia.

A mi sobrino preferido, Pablo Axel Alvarado Corona. Alguien que llego para cambiar nuestras vidas y hacer que todos los días sean cada vez más alegres y por ayudarme a descubrir en mí eso que nunca pensé que existiera, el amor incondicional ante todo.

A el Dr. Gerardo Cruz Flores, por ser una persona que cuenta con una calidez humana incomparable y por todos los momentos compartidos, así como su dedicación para conmigo, siempre estaré agradecida con la vida de haber tenido la fortuna de conocerlo y de que me enseñara lo maravilloso de la edafología.

A mi gran amiga Itzia Paz Cortes, por el placer de conocernos y las largas horas de risas compartidas y por que aunque en este momento la vida nos lleva por diferentes caminos no me cabe duda que siempre estemos juntas.

A Héctor Hugo Cilicio, Rodrigo Romero Tirado por que juntos hemos compartido y cultivado la maravillosa amistad que hoy día tenemos y por que siempre me hubiera gustado tener hermanos como ustedes, por que nos queremos, gracias.

A Rosario Granados por su gran ayuda con este trabajo y sobre todo por la amistad que cada día seguimos cultivando.

A Federico Peña y Angélica Vera, dos grandes amigos con los que se que puedo contar bajo cualquier circunstancia en mi vida, por que ambos son únicos.

A mis dos grandes amigas, Rosa Mora Gonzáles y Karina Villa Sandoval. Que a pesar de que no siempre estemos en contactos, la amistad es firme y por que al igual que las estrellas aun que no siempre las veas sabes que están ahí.

A Yanet Astudillo Bravo y Héctor León Maciel, por que juntos compartimos momentos inolvidables y por que parte de este trabajo es suyo también.

Por supuesto a todos mis maestros que durante mi formación contribuyeron con sus conocimientos, por su tiempo, gracias. También a todos mis compañeros de generación

con los cuales compartimos muchas aventuras en salidas campo, pero sobre todo a, Osvaldo Bandín (mi hermano), Alba Rodríguez, Diana Flores, Osvaldo Silvestre, Enrique Corona, Azucena Sánchez, Fabiola Espinosa, Paulina Pescador, Fernando Franco (ferchis), Fausto Campos, Gerardo Flores Román (Jerar), Octavio y Elisa Vera. Por que se que cualquiera que sea nuestro camino seguiremos compartiendo los éxitos obtenidos.

A mis sinodales, M. en C. Armando Cervantes Sandoval, Dr. Gerardo Cruz Flores, M. en C. Ramiro Ríos Gómez, Biól. Alejandro Tecpa y a el M. en C. Faustino López Barrera. Por la revisión del escrito y sus observaciones para mejorarlo.

Asimismo, agradezco a la DGAPA-PAPIIT de la Universidad Nacional Autónoma de México, quienes me otorgaron la beca de apoyo económico para la elaboración de esta tesis, lo cual fue un estímulo para mi.

Finalmente debo señalar, que a pesar de las personas que colaboraron o revisaron este trabajo; las ideas y resultados discutidos, así como los errores u omisiones son mi única y absoluta responsabilidad.

Alejandra Corona Ramos

Enero 2007.



Madre Tierra... superficie plena de elementos prestos a dar vida, a sostener vida, a generar vida. En el suelo ocurre la evolución biótica que el hombre sufre y disfruta desde su aparición sobre la tierra.

La Edafología es la rama de las ciencias naturales que estudia lo referente a los fenómenos biofísicoquímicos del suelo. La gran importancia de su aplicación radica en la necesidad de supervivencia que cada ser vivo tiene y por ello el avance científico en el área constituye una meta esencial para el hombre, que como todos los seres, depende totalmente del suelo.

M. en C. Nicolás Aguilera Herrera

La presente tesis se desarrollo en el laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal de la **Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México**, bajo la dirección del Dr. Gerardo Cruz Flores.

Esta tesis también forma parte del proyecto global titulado “**Calidad del suelo, secuestro de carbono y suministro de nutrimentos en bosques templados**” en los que se incluye la Reserva de la Biosfera el Cielo, El Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl Zoquiapan y Anexas, La Reserva de la Biosfera de Sierra de Manantla, El Parque Nacional Benito Juárez y que en el presente trabajo solo se muestran los resultados para dos de estas Áreas Naturales Protegidas. El cual contó con financiamiento de la DGAPA-PAPIIT, bajo la responsabilidad del Dr. Gerardo Cruz Flores

Alejandra Corona Ramos
Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal
FES Zaragoza, UNAM. 2007

ÍNDICE TEMÁTICO	Páginas
Índice de Figuras	iii
Índice de Cuadros	iv
Resumen	1
1 INTRODUCCIÓN	3
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Concepto de suelo	6
2.2 Calidad del suelo	8
2.3 El suelo en el ecosistema	10
2.4 Suelos forestales	11
2.5 Los bosques templados en México	14
2.6 Funcionamiento enzimático	18
2.7 Actividad ureasa del suelo	20
2.8 Fijación biológica del Nitrógeno	22
2.9 La materia orgánica y el nitrógeno	23
3. JUSTIFICACIÓN	26
4. OBJETIVOS	26
4.1 Objetivo general	26
4.2 Objetivos particulares	26
5. HIPÓTESIS	26
6. MATERIALES Y MÉTODOS	27
6.1 Descripción de las zonas de trabajo	27
6.1.1 Reserva de la Biosfera El Cielo	27
6.1.2 Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl	26
6.1.3 Parque Nacional Zoquiapan y Anexas	29
6.2 Delimitación de la zona de trabajo	31
6.3 Toma de muestras	31
6.3.1 Muestras de suelo	31
6.3.2 Muestras foliares	34
6.3.3 Muestras de mantillo	34
6.4 Pretratamiento de las muestras	34
6.5 Determinación en laboratorio	35
6.5.1 Análisis físicos y químicos en suelo	35
6.5.2 Análisis bioquímico	36
6.5.3 Análisis químico en tejido vegetal	36
6.6 Análisis estadístico	36
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
7.1 Descripción fisiográfica de las unidades ambientales estudiadas	39
7.1.1 Reserva de la Biosfera El Cielo	39
7.1.2 Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl	41
7.1.3 Parque Nacional Zoquiapan y Anexas	43

7.2 Propiedades físicas	44
7.3 Propiedades químicas	47
7.4 Propiedades bioquímicas	48
7.5 Actividad ureasa del suelo en cada una de las zonas de estudio	50
7.5.1 Reserva de la Biosfera El Cielo	50
7.5.2 Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl	55
7.5.3 Parque Nacional Zoquiapan y Anexas	56
7.6 Actividad ureasa del suelos en las Áreas Naturales Protegidas	58
7.7 Importancia de la contribución de la actividad ureasa en la liberación de NH_4^+ del N-orgánico	63
7.8 Relación entre la actividad ureasa y el nitrógeno de suelo, foliar y mantillo	63
7.8.1 Reserva de la Biosfera El Cielo	63
7.8.2 Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl	64
7.8.3 Parque Nacional Zoquiapan y Anexas	64
8. CONCLUSIONES	66
9. LITERATURA CITADA	67
10. ANEXO I	73
11. ANEXO II	75
12. APENDICE	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Páginas

1. Perfil ideal del suelo donde se muestran todos los horizontes que pueden distinguirse	7
2. Perfil vegetacional esquemático de los bosques templados y factores lito-climáticos que influyen en la formación de suelo	11
3. Principales causas ambientales y socio-económicas de la degradación de los suelos	14
4. Distribución de los bosques templados en México	15
5. Perfil esquemático este-oeste que ilustra los pisos ecológicos de las montañas de México	16
6. Esquematización del proceso de acoplamiento del complejo enzima-sustrato en una reacción enzimática	19
7. Efecto de la temperatura y el pH sobre la velocidad de las reacciones enzimáticas	20
8. Reacción de hidrólisis de la urea	21
9. Esquema de los mecanismos por los cuales el N puede llegar a ser asimilado por las plantas	24
10. Transferencia y transportación en el ciclo interno del N en los ecosistemas terrestres	25
11. Vista del cerro de la campana en la RBEC	27
12. Vista del volcán Popocatepetl	28
13. Vista del volcán Iztaccihuatl	29
14. Localización geográfica de las zonas de estudio	30
15. Imagen de satélite que muestra el polígono de la RBEC y los sitios de muestreo	32
16. Imagen de satélite que muestra el polígono de los PNIP-PNZA y los sitios de muestreo	33
17. Diagrama de flujo del muestreo, recolecta y análisis de los datos	37
18. Suelos característicos de la RBEC	39
19. Perfil de suelo característico del PNZA	43
20. Actividad ureasa del suelo y la relación con el N-Total y la MO	48
21. Actividad ureasa del suelo para las tres zonas de estudio	50
22. Relación entre la AUS y el pH activo en el gradiente altitudinal de la RBEC	51
23. AUS en relación con la MO en las localidades de la RBEC	52
24. AUS y el N-Total a lo largo del gradiente altitudinal en la RBEC	53
25. AUS y la relación que existe con las especies en la RBEC en el gradiente altitudinal	54
26. Relación entre la AU, pH y las especies en cada uno de los sitios del PNIP	55
27. Relación de la AUS respecto al contenido de N-Total en los suelos bajo las especies estudiadas en el PNZA	57
26. Relación del gradiente topográfico con los contenidos de MO y N-Total en las ANP	59
29. AUS en relación con el pH potencial y activo en las tres ANP	61
30. AUS en relación con las especies encontradas en las ANP	62
31. Porcentajes de las partículas del suelo en las ANP	62

ÍNDICE DE CUADROS	Páginas
1. Categorías de suelos encontrados en México de acuerdo a la clasificación de suelos FAO/UNESCO/ISRIC	17
2. Descripción geográfica de los sitios de muestreo en la Reserva de la Biosfera El Cielo	40
3. Descripción geográfica de los sitios de muestreo en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl	42
4. Descripción geográfica de los sitios de muestreo en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas	44
5. Propiedades físicas de los suelos encontradas en las ANP	45
6. Propiedades químicas y bioquímicas del suelo en las ANP	49
7. Relación de la AUS respecto a los contenidos de N-Total, MO, CBM en cada uno de los sitios de muestreo del PNIP	56
8. Relación de la AUS respecto a los contenidos de N-Total, MO, CBM, pH en cada uno de los sitios de muestreo del PNIP	58
9. Contenidos de nutrimentos y actividad bioquímica en las tres ANP	60
10. Cantidad de HN_4^+ liberado por la AU en cada una de las ANP	63
11. Contenido de N-suelo, N- foliar y N- mantillo	65

RESUMEN

Actividad ureasa del suelo y la dinámica de C y N en bosques templados de México

Con el objetivo de conocer la actividad ureasa (AU) del suelo y su relación con la dinámica de N y C en el gradiente altitudinal de tres Áreas Naturales Protegidas (ANP) con bosque templado, se realizó esta investigación entre los años 2004-2005, en la Reserva de la Biosfera El Cielo (RBEC) localizada en la Sierra Madre Oriental en el Estado de Tamaulipas y los Parques Nacionales Iztaccíhuatl-Popocatepetl (PNIP) y Zoquiapan y Anexas (PNZA) localizados en el Eje Neovolcanico Transversal comprendiendo parte de los estados de Puebla y Morelos, en las cuales se ubicaron 45 unidades ambientales de estudio, dentro de las que se trazaron cuadrantes de 20x50 m colectando muestras de suelo a dos profundidades; 0-10 para la determinación bioquímica y 0-20 para parámetros físicos y químicos, así como muestras de mantillo y foliar. En laboratorio además de determinar la AU (Tabatabai, 1994) se realizaron análisis de pH, textura, densidad del suelo, Materia orgánica (MO), N-Total, Carbono en biomasa microbiana (CBM) y Bióxido de Carbono (CO₂).

Se encontró que la AU presentó relación con los contenidos de N-Total y MO del suelo. En el PNZA se encontraron los menores contenidos de N-Total y MO y una mayor actividad enzimática ($0.0035 \text{ meq NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) que en la RBEC ($0.0027 \text{ meq NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) y en el PNIP ($0.0018 \text{ meq NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$). También se encontró que con el incremento en altitud la AU de los suelos tiende a disminuir por los cambios en la composición y comportamiento de cada una de las fracciones contenidas en el suelo y la dinámica nutrimental por lo que se puede señalar que la AU sí puede ser utilizada como un indicador de la calidad edáfica.

Palabras Clave: Actividad Ureasa del suelo, Nitrógeno, suelos forestales, calidad del suelo

SUMMARY

Soil Urease Activity and C and N dynamic in temperate forest of México

In order to determine the soil urease activity (SUA) and relationships with N and C dynamics in altitudinal gradient in three Protected Natural Areas (PNA) with temperate forest, this investigation was conducted between years 2004-2005, in the Cielo Biosfere Reserve (NBC) in Tamaulipas state and the National Parks Iztaccíhuatl-Popocatepetl (NPIP) and Zoquiapan (NPZA) located in the axis Neovulcanic in the Puebla and Morelos states. Soil samples to two depths from 0 to 10 cm for the determination of SUA and from 0 to 20 cm for physical and chemical properties were collected in quadrants of 20x50 m in 45 environmental units studied in the three PNA, also litter samples and to foliage of arboreal vegetation were collected. The SUA (Tabatabai, 1994) was determined and also analyses of pH, texture, soil density, organic matter (OM), N-total, Microbial Biomass Carbon (MBC) and Carbon Bioxide (CO₂) was determined. N-total and OM relationships with SUA.

The N-total and organic matter contents of the NPZA were smaller and the SAU was greater in PNZA the enzymatic activity (0,0035 meq NH₄⁺ g⁻¹ h⁻¹) was greater respect to RBEC (0,0027 meq NH₄⁺ g⁻¹ h⁻¹) and the PNIP (0,0018 meq NH₄⁺ g⁻¹ h⁻¹). Also it was found that with increase in altitude the SUA tends to diminish by changes in composition and nutrimental dynamics, by this is possible to be said that the SUA can be used like a indicator soil quality.

Work key: Soil activity urease, Nitrogen, Soil forests, Soil Quality.

1. INTRODUCCIÓN

La ureasa es una enzima que participa en el proceso de hidrólisis de la urea adicionada al suelo o nativa, está ampliamente distribuida en la naturaleza y ha sido detectada en microorganismos, plantas y animales. En trabajos recientes, Hackl *et al.* (2004), mencionan que la participación de los microorganismos en la absorción de N, es un factor crítico en la regulación de éste elemento en el ecosistema forestal, debido a que existe una correlación significativa entre N de biomasa microbiana con el N mineralizable y la actividad ureasa. La principal función de esta enzima es actuar sobre enlaces C-N en enlaces peptídico y en amidas lineales, rompiendo dicho enlace en secuencias de dos, donde el carbamato es el compuesto intermedio en la reacción, de manera que éste es el sustrato obligado para el segundo paso de la reacción hidrolítica total (Tabatabai, 1994). La ureasa (EC 3.5.1.5) es una de las enzimas que existen en el suelo y pertenece al grupo de las amidohidrolasas. La actividad de una enzima en el suelo, como la ureasa, es el resultado de la reserva o acumulación de la enzima, de la excreción de las raíces y de la proliferación de microorganismos con la capacidad de sintetizarla (Tabatabai, 1994).

El Nitrógeno es un elemento esencial en la composición de proteínas, ácidos nucleicos y necesario para el crecimiento de las plantas. En la atmósfera el N ocupa aproximadamente el 80%, existiendo en la forma $N\equiv N$; sin embargo, debido al triple enlace entre los dos átomos de nitrógeno, que hace a la molécula casi inerte, no puede ser aprovechado por la mayoría de las formas vivientes, sino sólo por un pequeño grupo de microorganismos altamente especializados que incluye a las algas, bacterias y actinomicetes. Para ser utilizado en el crecimiento, este debe ser primero reducido y luego fijado en la forma de iones amonio (NH_4^+) o llevado a la forma de nitrato (NO_3^-) por actividad bacteriana. El proceso se puede llevar a cabo por los microorganismos en vida libre o en simbiosis con plantas, permitiendo no solo usar al nitrógeno atmosférico sino también revertir o reducir la degradación del suelo (Manson y Falkengren- Grerup, 2003).

Para la liberación del N es necesario una adecuada relación C:N, siendo está uno de los principales factores que determina su velocidad de mineralización; por ello el N, influye más que otro nutrimento sobre el desarrollo de la vegetación forestal (Carter *et al.*, 2002; Manson y Falkengren- Grerup, 2003). Durante el proceso de degradación de la materia orgánica, la relación C:N disminuye, resultando finalmente en el humus un contenido del 5% de nitrógeno. A su vez el contenido de carbono en el suelo, también tiene influencia sobre los procesos químicos, biológicos y sobre la productividad de los bosques (Bundt *et al.*, 2001; Giardina *et al.*, 2001).

En nuestro país, los bosques templados proporcionan tanto bienes como servicios ambientales para el hombre. Así mismo, tienen gran importancia histórica, socioeconómica y desde luego biogeográfica-ecológica (Challenger, 1998). Los suelos forestales sirven como medio para el sustento de la vegetación, los cuales a su vez, son los ecosistemas mas ricos en cuanto a taxa (Lindenmayer, 1999), son cuerpos naturales que constan de materia mineral y orgánica en equilibrio dinámico con variables cantidades de agua y aire. Estos suelos presentan características especiales que provienen de la influencia de la hojarasca o humus forestal, raíces de árboles y una amplia gama de organismos específicos, cuya distribución y abundancia depende de la presencia de dicha vegetación (Bockheim, 1991). Evaluar la calidad de un suelo resulta sumamente importante aunque la intrincada red de interacciones presentes entre los factores bióticos y abióticos que controlan procesos de tipo físico, químico, biológico y bioquímico realizados en el suelo, ofrece un panorama que indica lo complicado que resulta evaluar la calidad de un suelo y su relación con la disponibilidad de nutrimentos para las plantas. Doran y Parkin, 1994 definen a la calidad del suelo como “su capacidad para funcionar dentro de un ecosistema determinado para sostener la productividad biológica, mantener la calidad del ambiente, la vegetación y la fauna”. Por su parte Franzluebber (2002), complementa este concepto tomando como base la premisa de manejo, estabilización y mejoramiento de las funciones del suelo en los ecosistemas.

Por lo anterior, el N y C son elementos que sufren transformaciones durante los procesos biológicos de mineralización químicas que influyen sobre su disponibilidad para la vegetación, en el caso de la ureasa, Sall y Chote (2002) mencionaron que en general, las enzimas del suelo juegan un papel importante en la descomposición de la materia orgánica del suelo y sobre el ciclo de nutrimentos por lo que, la medición de su actividad, se puede utilizar como indicador de fertilidad. De esta manera, conocer qué tan bueno es un suelo, es prioritario, para localizar los problemas puntuales de cada suelo, dar solución a los mismos y realizar un programa de mejoramiento, restauración y estabilidad, no solo del suelo sino del sistema del que éste forma parte.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEPTO DE SUELO

El suelo es el material no consolidado, mineral u orgánico depositado sobre la superficie de la tierra el cual ha sido sometido e influenciado por factores genéticos y ambientales, materia parental, clima, topografía, macro y microorganismos. Todos actuando en el tiempo y generando un producto -el suelo- que difiere del material del cual se derivó en muchas características y propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas (USDA, 1999). La formación del suelo requiere de tiempo, pues la combinación de los efectos de todos los factores que intervienen en su formación se da en términos del tiempo geológico (Fitz-Patrick, 1985)

El suelo puede considerarse como un sistema vivo y dinámico entre cuyas funciones primordiales están las de mantener:

- a) la productividad de las especies vegetales que en el se establecen
- b) la biodiversidad en general
- c) la calidad del aire y del agua
- d) la salud humana y el hábitat (Etchevers *et al.*, 2000; Seybold *et al.*, 1997)

Es el medio en el cual crecen las plantas terrestres y que proporciona soporte físico, humedad y nutrimentos. De manera simultanea sirve para alojar una multitud de organismos, como “basurero” para los desechos de la naturaleza, como filtro para las sustancias toxicas y como almacén para los nutrimentos. El suelo es un producto de su ambiente cuya calidad es en gran parte, función del modelo que sostiene (Pritchett, 1986)

La mayoría de los suelos maduros posee, al menos tres horizontes (A, B y C), pero suelos recientes o poco desarrollados pueden carecer de alguno de ellos. Algunos suelos tienen una capa orgánica (horizonte O) compuesta principalmente por hojas, restos de animales, hongos y otros materiales orgánicos parcialmente descompuestos. En la Figura 1 se muestra el perfil general de un suelo. El espesor, presencia y composición de los horizontes varía en función del tipo de suelo y las condiciones climáticas.

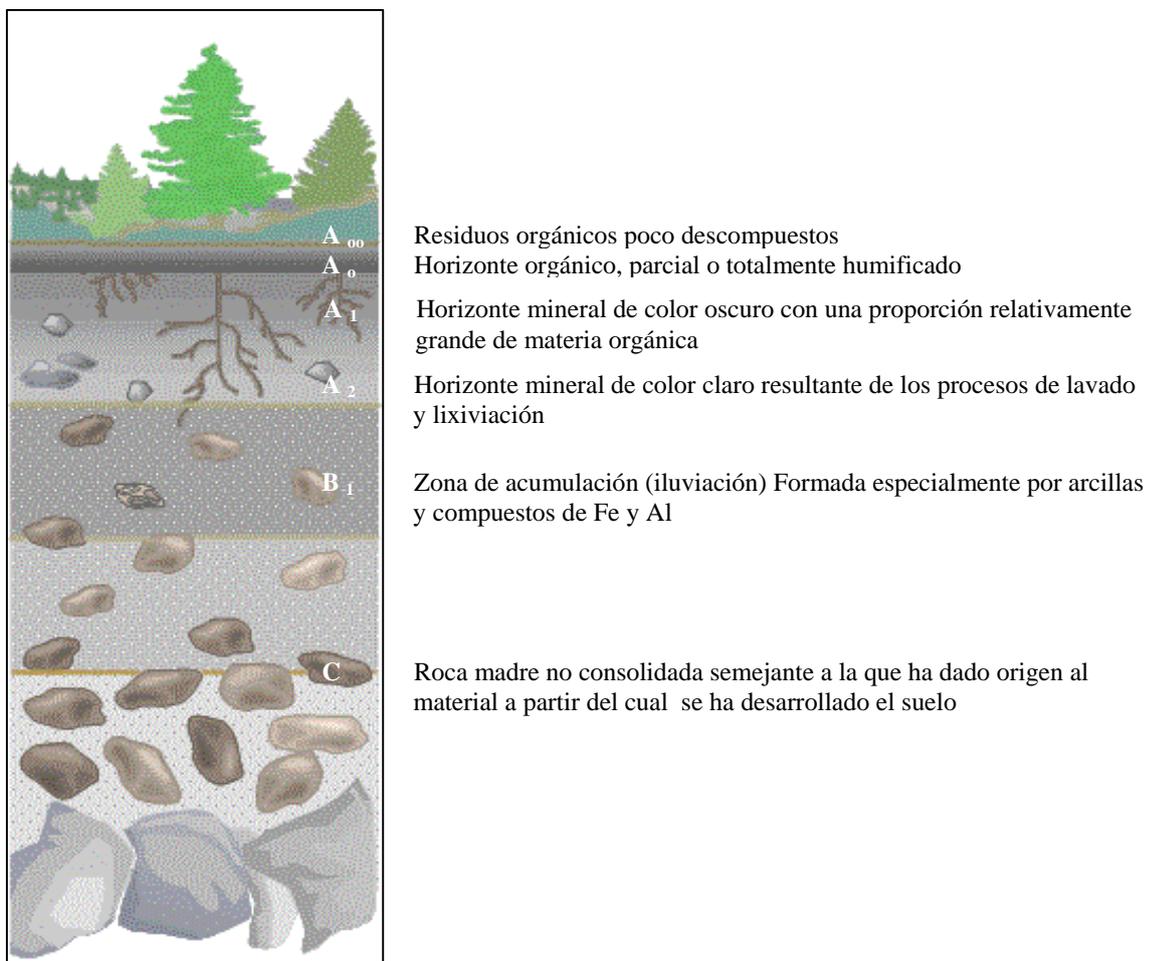


Figura 1. Perfil ideal del suelo donde se muestran todos los horizontes que pueden distinguirse. Adaptado de Aguilera 1989.

2.2 CALIDAD DEL SUELO

Doran y Parkin, 1994 definen a la calidad del suelo como “la capacidad para funcionar dentro de un ecosistema determinado, sostener la productividad biológica, mantener la calidad del ambiente, la vegetación y la fauna”. Por su parte Franzluebber (2002) complementa este concepto tomando como base la premisa de manejo, estabilización y mejoramiento de las funciones del suelo en los ecosistemas.

Los indicadores de la calidad del suelo son propiedades físicas, químicas y biológicas, procesos y características que pueden ser utilizadas para monitorear al suelo (USDA-NRCS, 1996, Seybold *et al.*, 1997). En investigaciones recientes en suelos forestales bajo *Pinus sp* (Granados, 2003) utilizó los siguientes parámetros como los más importantes para determinar la calidad de suelo:

Químicos: C, N y P, capacidad de intercambio catiónico, pH y conductividad eléctrica que se relaciona con la acidez del suelo y la salinidad respectivamente.

Físicos: Textura, porosidad, estructura o estabilidad de agregados, profundidad del suelo y subsuelo, capacidad para mantener la disponibilidad de agua, conductividad hidráulica y como indicadores dinámicos el balance aire/agua, erosión potencial y potencial de lixiviación (Schoenholtz *et al.*, 2000)

Biológicos: Knoepp *et al.*, (2000), mencionaron que los indicadores biológicos representan diferentes aspectos de la calidad del suelo en diversos ecosistemas, influyendo en el desarrollo de la estructura y el almacenamiento de nutrientes del suelo, donde la actividad enzimática y composición microbiana son elementos importantes para entender la dinámica de los ciclos biogeoquímicos.

Normalmente estos índices de calidad de los suelos han sido desarrollados para evaluar efectos del manejo en sistemas de producción agrícola y ganaderos. Sobre la base de esos estudios, Kelting *et al.*, (1999) desarrollaron un modelo que contiene cinco indicadores considerados claves en la productividad de suelos forestales: 1) crecimiento de raíces; 2) ciclo de nutrientes; 3) dinámica del agua; 4) intercambio gaseoso y 5) actividad biológica.

Interpretar y predecir los efectos del manejo sobre la calidad del suelo a través de indicadores confiables y sensibles constituye una de las principales finalidades de la moderna ciencia del suelo.

Un indicador edáfico requiere cumplir con algunos de los siguientes criterios:

1. Describir procesos que ocurren en el sistema.
2. Integrar propiedades y procesos Físicos, químicos y biológicos.
3. Ser accesible a muchos usuarios y aplicable a condiciones de campo.
4. Reflejar atributos de sustentabilidad.
5. Su medición pueda ser reproducible
6. Ser aplicable en amplio rango de sistemas y condiciones socioeconómicas, culturales y ser sencillo de entender.
7. Centrarse en aspectos prácticos.

Para integrar y sintetizar adecuadamente la información obtenida, se recomienda determinar umbrales o valores de referencia para cada indicador, así mismo integrar los resultados de manera conjunta y examinar las relaciones entre indicadores (Maser *et al.*, 2000)

Los indicadores edáficos, facilitan la evaluación integral de los suelos, en términos de su funcionamiento, aptitud y vulnerabilidad. Además, estos indicadores son relativamente sensibles a los cambios de uso del suelo y a cambios climáticos, por lo

que permiten el seguimiento de la calidad del suelo en el tiempo, a fin de identificar tendencias adversas (Cotler, 2003). Arbelo *et al.*, (2002) mencionaron que dicha calidad se encuentra relacionada con los procesos de sucesión ecológica, por lo que la degradación de los ecosistemas trae consigo una disminución en la calidad de los suelos y una regresión en la sucesión vegetal.

De esta manera, conocer la calidad del suelo mediante indicadores, es prioritario para localizar los problemas puntuales de cada suelo, dar solución a los mismos y realizar un programa de estabilidad, mejoramiento y restauración, no solo del suelo sino del sistema del que este parte.

2.3 EL SUELO EN EL ECOSISTEMA

La función más conocida del suelo es la de soporte y suministro de nutrimentos a las plantas. Así mismo, constituye el medio donde se realiza ciclos biogeoquímicos necesarios para la reincorporación de los compuestos orgánicos (Cotler, 2003). Como resultado de estos procesos, se estima que el contenido de carbón almacenado en el primer metro de profundidad del suelo es 1.5 veces mayor que el acumulado en la biomasa, constituyendo la tercera fuente más importantes de carbono (Lal, 1999). Este “secuestro” de carbono en el suelo reduce su liberación a la atmósfera como CO₂, uno de los principales gases del efecto invernadero, responsable del cambio climático (Kern y Jonson, 1993).

Como cuerpo natural, presenta un continuo en el paisaje con variaciones por las condiciones lito-climáticas del sitio, el drenaje, la historia geomorfológica y el uso de la tierra. En esta toposecuencia Birkeland (1984) menciona que los suelos presentan una variación lateral, que afecta propiedades fundamentales como la profundidad, el contenido de materia orgánica, textura, pedregosidad y características químicas, entre otras, que condicionan tanto la aptitud para un determinado uso agropecuario o forestal como la vulnerabilidad de degradación de los suelos (Figura 2).

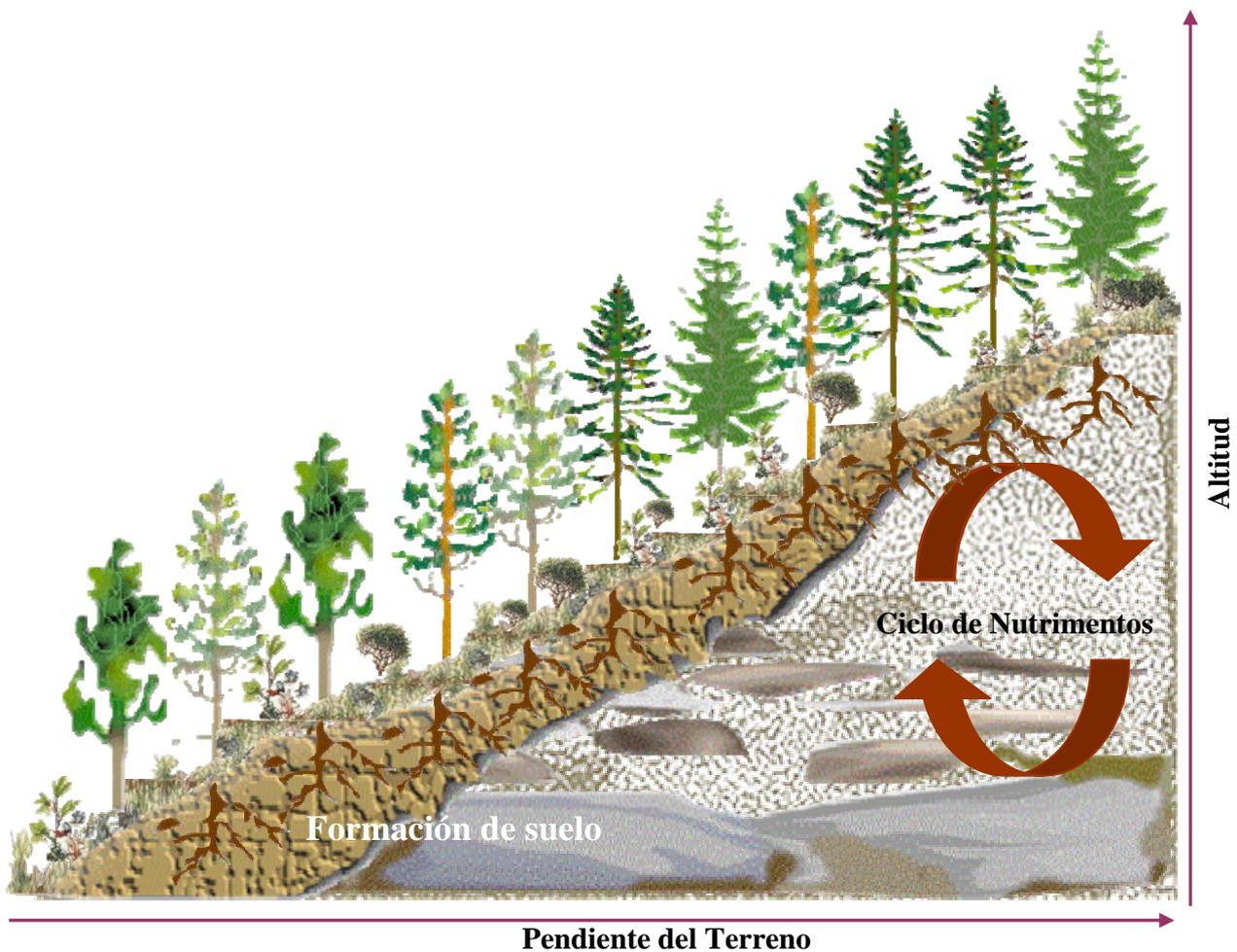


Figura 2. Perfil vegetacional esquemático de los bosques templados y factores lito-climáticos que influyen en la formación de suelo

2.4 SUELOS FORESTALES

Los bosques compuestos por pinos (*Pinus* spp.) y encinos (*Quercus* spp.) constituye un elemento fundamental donde el suelo manifiesta características peculiares adquiridas bajo la influencia de tres factores que son poco comunes en otros suelos: Hojarasca o humus forestal, raíces de árboles y organismos específicos, cuya existencia depende de la presencia de vegetación forestal (Bockheim, 1991).

Los árboles de los suelos forestales son importantes por que:

1. Ofrecen soporte mecánico.
2. Retienen y transmiten el agua y los gases.
3. Sirven como hábitat para los macros y microorganismos.
4. Retienen, intercambian y fijan las sustancias nutritivas.

El funcionamiento de los suelos depende en gran proporción de las propiedades bioquímicas, ya que de ellas depende el estado de las principales funciones edáficas productivas, filtrantes y degradativas. Por lo tanto, la actividad biológica y bioquímica del suelo es de importancia capital en el mantenimiento de la fertilidad de los hábitats terrestres y consecuentemente del funcionamiento de los ecosistemas forestales (Peña *et al.*, 2004). La sucesión en estos ecosistemas lleva en sus estadios finales a una vegetación arbórea estable, en equilibrio con las condiciones ambientales. Los suelos que se desarrollan bajo una vegetación madura, presentan una alta calidad ambiental y funcionan como sistemas en equilibrio, activos y estables (Fisher y Binkley, 2000; Doran y Parkin, 1996).

La presencia de la actividad humana es otro de los factores que influyen sobre la calidad del suelo y de su deterioro progresivo, el cual tiene efectos permanentes dentro del sistema (Enkerlin, 1997). Los daños al suelo, alteran los ciclos hidrológicos y de nutrimentos y aumenta el calentamiento global, a consecuencia de la disminución en captura de carbono (Velázquez *et al.*, 2002). El secuestro de C en la materia orgánica del suelo (MOS) es un aspecto de considerable importancia, pues aumenta la calidad del suelo al mejorar su fertilidad, estructura y participa en los ciclos de nutrimentos y como centro de demanda de C para ayudar a mitigar el incremento de CO₂ en la atmósfera (Swift, 2001).

En México, la calidad del suelo se ve amenazada principalmente por el manejo inadecuado en ciertas prácticas productivas de los sectores forestales, ganadero y agrícola (50% del territorio se dedica al uso ganadero y en conjunto el 75% de la degradación de los suelos es causada por deforestación, el sobrepastoreo y el cambio de uso de suelo que es propiciado por el crecimiento demográfico). En la evaluación del suelo, se identificó a la deforestación como una de las actividades que más influyen en la degradación edáfica con el 25.81% del total (SEMARNAT, 2000). La degradación de los suelos ocurre como respuesta a múltiples factores ambientales y socioeconómicos. En la Figura 3 se presentan algunos de los factores más importantes causantes de este fenómeno, aunque es importante acotar que rara vez es un solo factor el que desencadena un problema de degradación. Si bien es cierto que en ciertos paisajes, los suelos pueden ser más erosionables o la precipitación más erosiva, prácticamente todos los factores preponderantes recaen en las actividades humanas. En general, todo uso de la tierra que modifica el tipo y la densidad de las poblaciones vegetales originales deja al descubierto al suelo, propiciando su degradación.

Velázquez *et al.*, (2002), en su reporte sobre análisis del cambio de uso de suelo en el país, mencionan que es necesario e importante el estudio de los procesos dinámicos de las variaciones en cobertura y cambio de uso de suelo y la deforestación, para proporcionar la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada y a su vez para conocer tendencias y mecanismos desencadenadores de pérdida de productividad, vulnerabilidad a erosión, deforestación, fragmentación ecológica, pérdida del valor de opción de bienes y servicios ambientales.

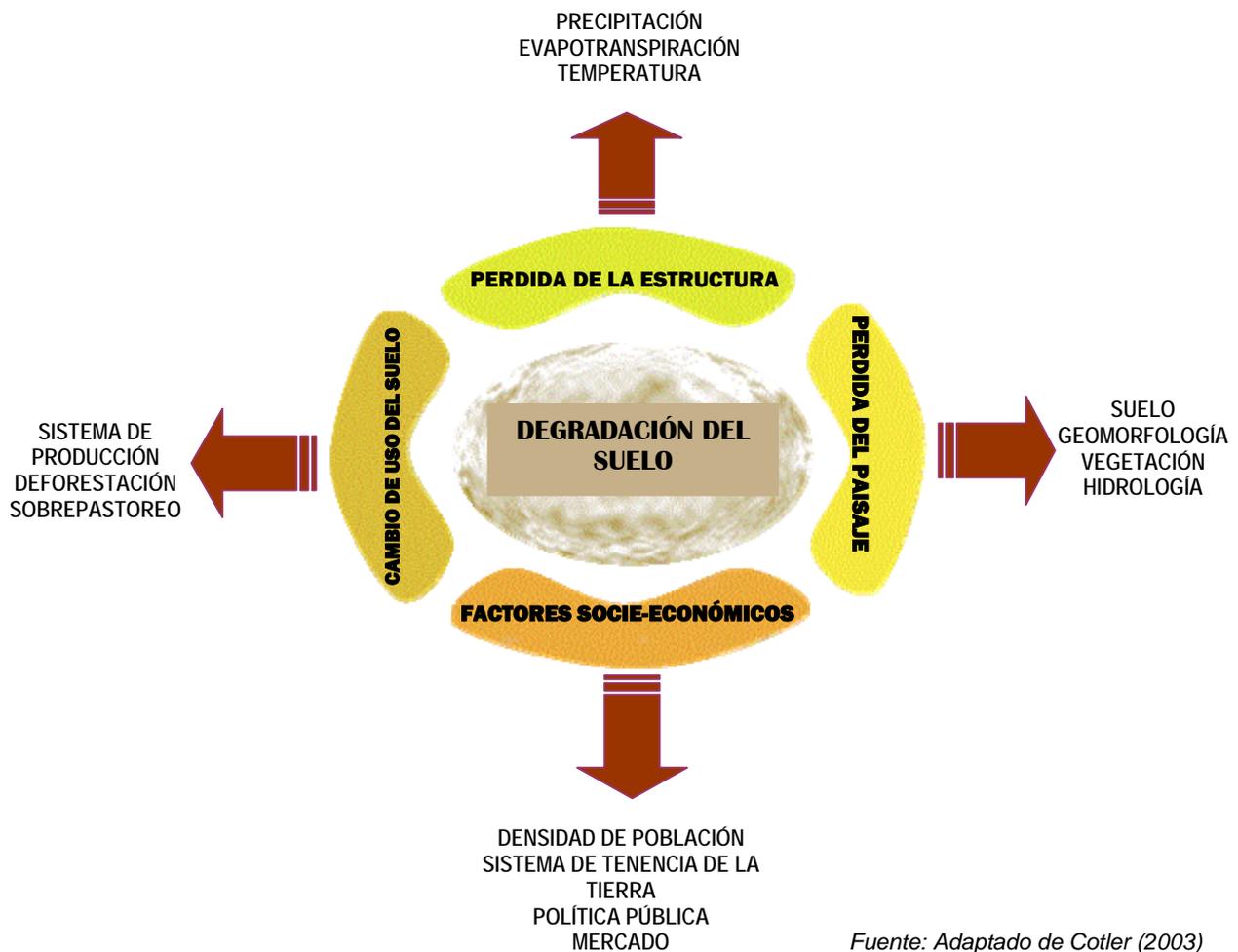


Figura 3. Principales causas ambientales y socio-económicas de la degradación del suelo

2.5 LOS BOSQUES TEMPLADOS EN MÉXICO

Los bosques templados de México abarcan una superficie de 327,510.6 km² (Velázquez *et al.*, 2001) y se distribuyen principalmente a lo largo de las cadenas montañosas (Figura 4), cubriendo una gran variedad de condiciones morfogénicas y litológicas. A lo largo de la Sierra Madre Oriental, los bosques de pino-encino se encuentran desde el sur de Tamaulipas hasta el centro de Veracruz; a lo largo de la Sierra Madre Occidental, desde Chihuahua hasta el norte de Michoacán; en el centro del país desde Colima hasta el centro de Veracruz cubriendo parte del Eje Neovolcánico Mexicano; y en la Sierra Madre del Sur, desde Michoacán hasta Oaxaca

(Challenger, 1998). En Chiapas, especialmente en partes de las sierras de Arriaga y de San Cristóbal Las Casas (Rzedowski, 1978). Esta distribución se explica porque el 95% de este ecosistema se dispone en formas de relieve caracterizadas por lomeríos, colinas y montañas con distinto grado de disección (Figura 5). Los intervalos de pendiente dominantes donde se asientan los bosques de pino-encino son también variables. Sin embargo, el intervalo dominante donde se encuentra en 24.84% del bosque, varía entre 10 y 15 grados, mientras que el 10.6% de esta cobertura se encuentra en superficies con pendientes muy suaves (menores a 3 grados) y el 7.6% en pendientes muy fuertemente inclinadas (20 a 45 grados). Casi todos los bosques templados crecen en lugares cuya precipitación anual promedio varía entre 600 y 1200 mm distribuida a lo largo de seis a siete meses de año (Rzedowski, 1978).

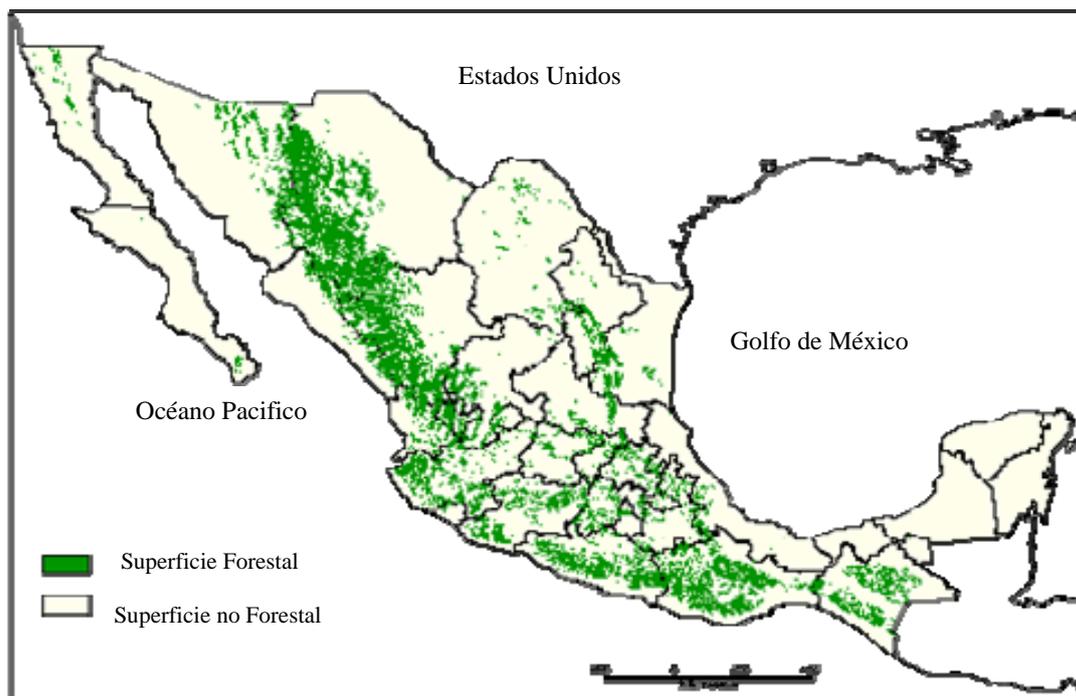


Figura 4. Distribución de los bosques templados en México

Fuente: Velázquez et al (2001)

En nuestro país, los bosques templados proporcionan tanto bienes como servicios ambientales disponibles para el hombre, así mismo tienen gran importancia histórica, socioeconómica, cultural y desde luego eco-geográfica. Las zonas templadas en México se restringen a estrechas zonas altitudinales que contribuyen a la condensación de masas de aire con alto grado de humedad, que provienen del mar o por desplazamiento de masas de aire polar (Challenger, 1998) (Figura 5).

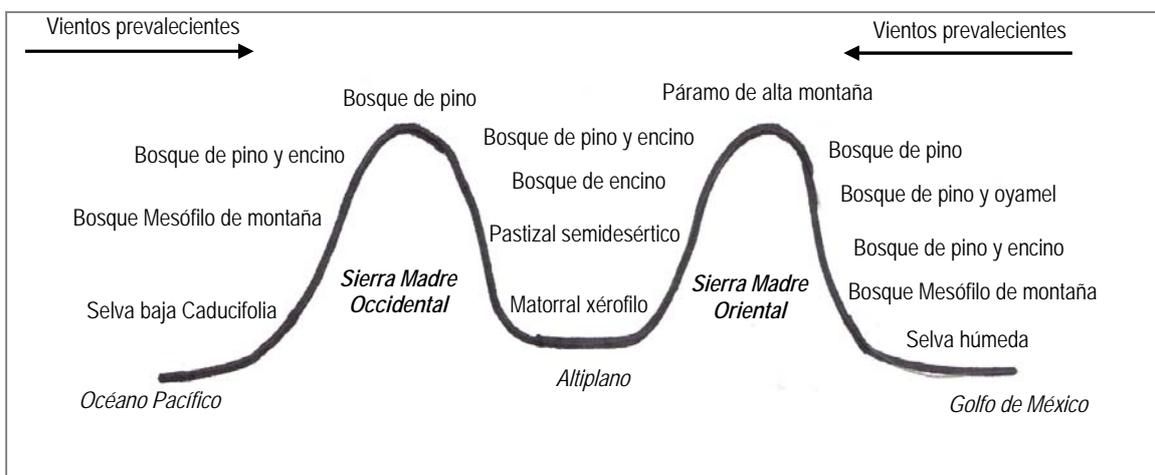


Figura 5. Perfil esquemático este-oeste que ilustra los pisos ecológicos de las montañas de México. Adaptado de Challenger (1998:497).

Como respuesta a estas condiciones morfogénicas se forma una gran variedad de suelos. Algunos presentan fuerte desarrollo con lixiviación de arcillas, como los Cambisoles. Otro grupo de suelos característicos presentan propiedades que están determinadas por su fracción coloidal (arcilla y materia orgánica, principalmente) como los Andosoles. Sin embargo, los suelos dominantes que sustentan a los bosques templados se caracterizan como superficiales, con un incipiente desarrollo, como los Litosoles y Regosoles, los cuales mantienen en forma conjunta al 58% del bosque templado. Cada una de estas unidades morfo-edáficas presenta un potencial, función y vulnerabilidad distinta, que debe ser reconocida en los planes de manejo y de conservación de estos ecosistemas.

Nuestro país presenta una gran diversidad de suelos, debido a la compleja historia geológica de la superficie terrestre y los diferentes factores ambientales, fisiográficos, climáticos y biológicos. La clasificación internacional de los suelos, de acuerdo al sistema FAO/UNESCO/ISRIC de 1988, divide a los suelos en unidades o categorías de acuerdo a ciertas características generales, actualmente, existen 28 unidades principales y 153 subunidades. De estas 28 categorías reconocidas en el mundo, en México se encuentran presentes 25 de las cuales 10 conforman el 74% de la superficie nacional. Las tres categorías dominantes en el territorio, en términos de superficie, son los Leptosoles, Regosoles y Calcisoles. En el Cuadro 1 se muestran dichas categorías en donde los Leptosoles son los suelos que ocupan cerca del 25 % que en su mayoría sostienen vegetación forestal (SEMARNAT 2000).

Cuadro 1. Categorías de suelos encontrados en México de acuerdo a la clasificación internacional de suelos FAO/UNESCO/ISRIC.

Categoría	Características	Superficie ocupada	
		km ²	%
Leptosol	Suelos muy delgados (espesor <30 cm) sobre roca dura	467978	24.9
Regosol	Suelos en formación a partir de material consolidado (roca madre)	361335	18.5
Calcisol	Suelos con altos contenidos de calcio (CaCO ₃)	355475	18.2
Feozems	Suelos saturados de bases, hasta 12 cm. Muy fértiles. Presentan una superficie oscura	189457	9.7
Vertisol	Suelos con alto contenido de Arcilla (> 35%) hasta 50cm	162112	8.3
Arenosol	Suelos con alto contenido de arena hasta 125 cm	120196	6.2
Cambisol	Suelos poco desarrollados de color claro, presentan cambios de estructura o consistencia por intemperización	91799	4.7
Luvisol	Suelos con arcillas, saturados en bases (alta CIC*), en cualquier clima, excepto tropical y subtropical	46876	2.4
Gleysol	Suelos con saturación de agua permanente	29297	1.5
Alisol	Suelos con alto contenido de aluminio, sólo se encuentran en climas tropicales y subtropicales	29297	1.5
Otros		98440	5.0
Total		1953162	100.0

CIC*: Capacidad de intercambio catiónico
Fuente: SEMARNAT-INEGI 1996

Finalmente, la necesidad de un manejo adecuado de los ecosistemas de bosque templado se acentúa si se considera que, del total de superficie de los bosques, sólo el 5.23% se encuentra bajo protección en alguna categoría de área natural protegida (Información obtenida a partir de bases de datos de CONABIO y de Velázquez *et al.* 2001). Así que con el conocimiento de las relaciones e interacciones entre suelo y condiciones geológicas, fisiográficas, climáticas etc., 2) del estudio de la actividad enzimática y actividad microbiana en el suelo y 3) el estudio geoquímico involucrados en la mineralización de N relacionado con el estado nutricional de las especies forestales, se tendrán mejores elementos para diseñar estrategias de conservación, restauración de suelos y manejo del bosque dentro de un marco de desarrollo sustentable.

2.6 FUNCIONAMIENTO ENZIMATICO

Las enzimas son biocatalizadores de naturaleza proteica, todas las reacciones químicas del metabolismo celular se realizan gracias a la acción de catalizadores o enzimas. Estas son extraordinariamente eficientes y gracias a su gran capacidad catalítica se puede alcanzar en las reacciones la velocidad necesaria para el aprovechamiento de la energía (Lehninger, 1995)

Una de las propiedades fundamentales de las enzimas en relación con su actividad es su especificidad. Esta es una consecuencia de la afinidad de la enzima con su sustrato, que resulta en el acoplamiento del mismo en el sitio activo, dada esta situación, es lógico esperar que no cualquier sustancia que se encuentre en presencia de la enzima vaya a poder entrar al sitio activo. La primera etapa en una reacción enzimática es el acoplamiento de la enzima con una molécula del sustrato para formar un complejo llamado enzima-sustrato. En la segunda etapa este complejo debe disociarse para liberar el producto deseado. La enzima libre es regenerada y se habilita para reaccionar nuevamente con otra molécula del sustrato (Granados, 2003) (Figura 6).

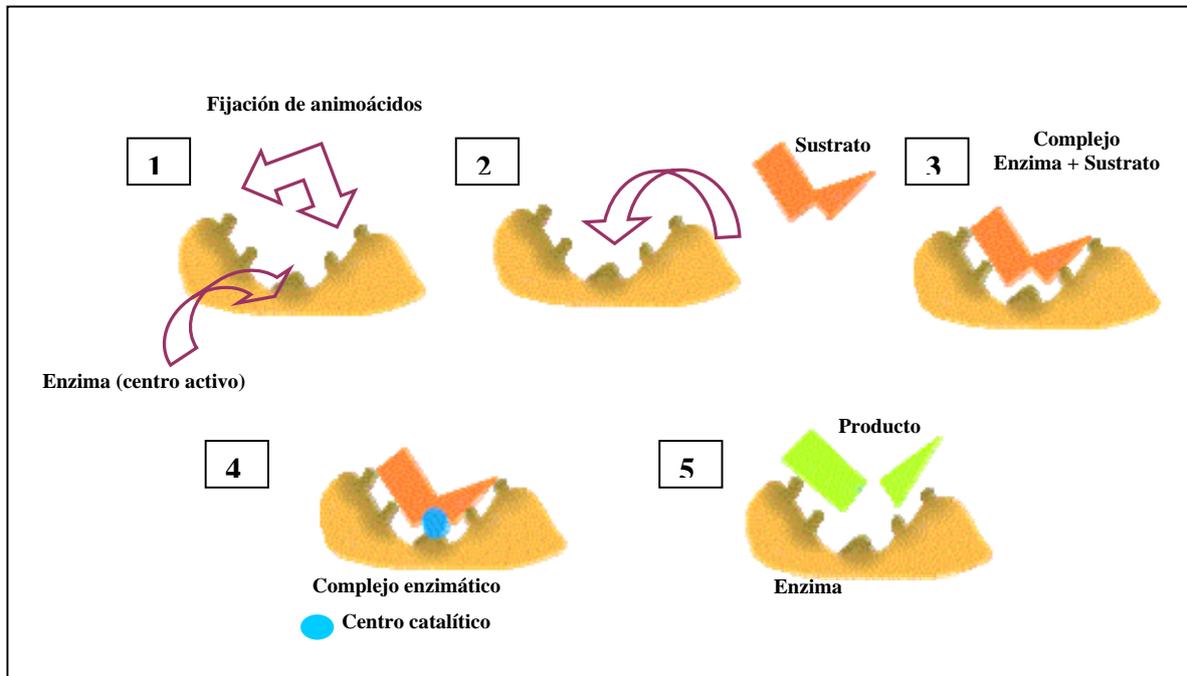


Figura 6. Esquemización del proceso de acoplamiento del complejo enzima-sustrato en una reacción enzimática (Adaptado de Lehninger, 1995)

Dada la naturaleza proteica, la mayoría de los enzimas son muy sensibles a los cambios de pH por lo que desviaciones de pocas décimas por encima o por debajo del pH óptimo pueden afectar drásticamente su actividad. Para la ureasa se sabe que un pH 7 es óptimo para su actividad y que ligeros cambios en éste pueden provocar modificaciones en dicha actividad. La temperatura es otro de los factores que influyen sobre la actividad enzimática, los aumentos de temperatura aceleran las reacciones químicas: por cada 10°C de incremento, la velocidad de reacción se duplica. Las reacciones catalizadas por enzimas siguen esta ley general. Sin embargo, al ser proteínas, a partir de cierta temperatura, se empiezan a desnaturizar por el calor. La temperatura a la cual la actividad catalítica es máxima se llama temperatura óptima, el aumento de velocidad de la reacción debido a la temperatura es contrarrestado por la pérdida de actividad catalítica debida a la desnaturización térmica, y la actividad enzimática decrece rápidamente hasta anularse (Figura 7) (Peña, 2005).

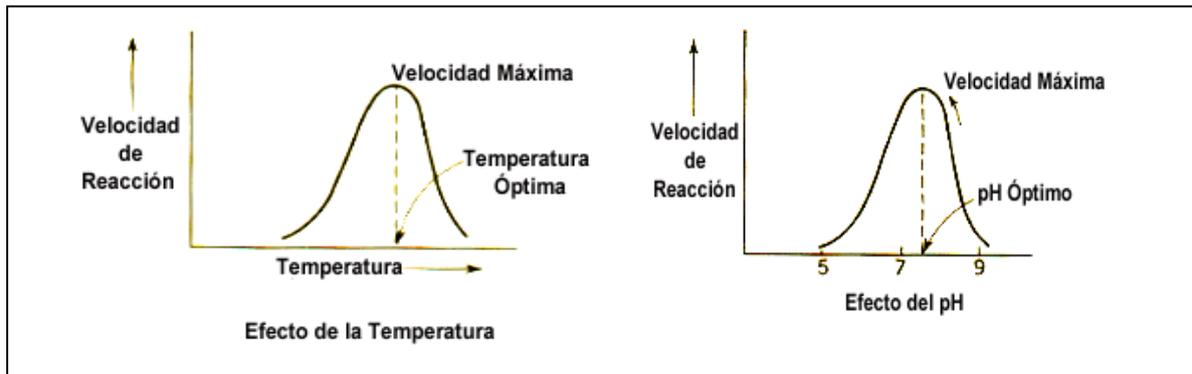


Figura 7. Efecto de la temperatura y el pH sobre la velocidad de las reacciones enzimáticas (Adaptado de Lehninger, 1995).

2.7 ACTIVIDAD UREASA DEL SUELO

Los procesos por los cuales la fase orgánica del suelo se transforma en sustancias minerales simples, son catalizados por enzimas que son secretadas por las raíces de las plantas, algunos microorganismos y la misma fauna del suelo. Estos compuestos de origen biológico son catalizadores específicos que aumentan la velocidad de una reacción bioquímica y se caracteriza según:

- a) Su actividad se realiza con concentraciones extremadamente pequeñas de sustrato, aunque la cantidad transformada (producto) en la reacción es mucho mayor.
- b) Las enzimas no son afectadas por las reacciones en las que intervienen.
- c) Su actividad queda restringida a un margen de pH, temperatura y concentración.
- d) Su poder catalítico, conduce a la reacción en dirección al equilibrio en muy poco tiempo.
- e) Esta acción catalizadora resulta ser específica de cada enzima.

- f) La interacción enzima-sustrato forma un complejo E-S antes de la descomposición del sustrato.
- g) Su presencia o ausencia se debe a inhibidores o activadores. Devlin y Witham (1983) citado por Granados (2003).

Entre las diferentes enzimas que existen en el suelo están las amidohidrolasas, cuya función hidrolítica está relacionada con compuestos orgánicos de nitrógeno tanto nativo como el adicionado al suelo. Entre las amidohidrolasas, las más importantes son la L-asparaginasa, L-glutaminasa (EC 3.5.1.2), amidasa (EC3.5.1.4) y ureasa (EC 3.5.1.5) la cual cataliza la hidrólisis de la urea a CO_2 y NH_3 .

James Sumner en 1926 (citado por Lehninger, 1995) aisló en forma cristalina la enzima ureasa (Lehninger, 1995), a partir de extractos obtenidos de *Cannavalia enzyformis* (Fabaceae) la que hidroliza la urea según la siguiente reacción:

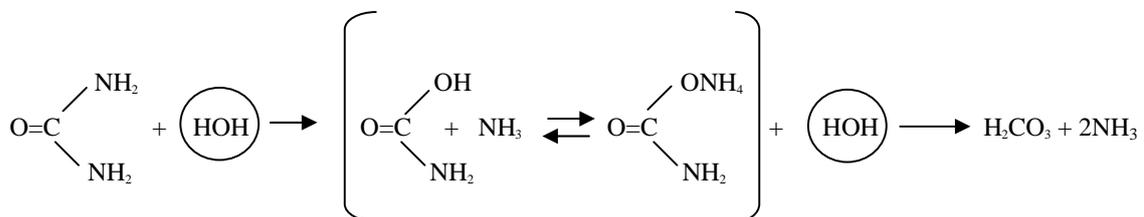


Figura 8. Reacción de hidrólisis de la urea

Al igual que la L-asparaginasa, L-glutaminasa y amidasa; la ureasa actúa sobre enlaces C-N en enlaces peptídicos y en amidas lineales. En la actividad de la ureasa sobre la urea, se rompe en secuencias de dos, enlaces C-N teniendo como uno de los compuestos intermedios al carbamato (Gorin, 1959 y Blakeley *et al.*, 1969 citados por Tabatabai, 1994), de manera que el carbamato es el sustrato obligado para el segundo paso de la reacción hidrolítica total (Figura 8) (Reithel, 1971, citado en Tabatabai, 1994).

La ureasa es una enzima ampliamente distribuida en la naturaleza, detectada en microorganismos, plantas y animales. Su presencia fue reportada en el suelo por (Rotini, 1935, Conrad, 1940a, d, c; 1942a, b; 1943 citados por Tabatabai, 1994). En modelos conceptuales de evaluación de la calidad de suelos, además de indicadores físicos y químicos, se tiene la presencia de enzimas del suelo cuya actividad constituye en la mineralización de la MOS que también es promovida por factores y procesos microbianos. Sall y Chote (2002) mencionaron que en general, las enzimas del suelo juegan un papel importante en la descomposición de la MOS y sobre el ciclo de nutrientes por lo que la medición de su actividad se puede utilizar como indicador de fertilidad.

2.8 FIJACIÓN BIOLÓGICA DEL INTRÓGENO

El Nitrógeno es un elemento necesario en la composición de proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares, siendo así esencial para el crecimiento de todos los organismos. En la atmósfera el N ocupa aproximadamente el 80%, existiendo en la forma N_2 ; sin embargo, el N_2 , debido al triple enlace entre los dos átomos de nitrógeno, hace a la molécula casi inerte; no puede ser aprovechado por la mayoría de las formas vivientes, sino sólo por un pequeño grupo de microorganismos altamente especializados, que incluyen algas, bacterias y actinomicetes. Para ser utilizado en el crecimiento, éste debe ser primero reducido y luego fijado en la forma de iones amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-) (Figura 9).

El proceso a través del cual esos microorganismos reducen el nitrógeno hasta una forma utilizable es conocido como Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN). El proceso puede ser llevado a cabo por los microorganismos en vida libre o en simbiosis con plantas y el mismo no sólo permite usar el nitrógeno atmosférico sino también revertir o reducir la degradación del suelo (Manson y Falkengren- Grerup, 2003).

El N que utiliza la planta proviene de la descomposición de la materia orgánica (MO) y eventualmente de la fijación microbiana: sin embargo, una buena dotación de MO en el suelo, no es necesariamente garantía de un buen abastecimiento de nitrógeno para la planta. La MO sigue una trayectoria en el tiempo sometida a transformaciones físico-químico-biológico, bajo múltiple factores influyentes, hasta llegar a la forma disponible. Las formas asimilables de N para la planta, depende del tiempo y del grado de afectación de los factores influyentes (características del suelo y del clima principalmente). Es aquí donde la actividad de la ureasa (AU) juega un papel importante en la disponibilidad del N proveniente de la MO (Figura 9).

2.9 LA MATERIA ORGÁNICA Y EL NITRÓGENO

La MO, para las plantas, es la mayor fuente de micronutrientes y macronutrientes como N, P y S, elementos que durante los procesos biológicos de mineralización, sufren transformaciones químicas que influyen sobre su disponibilidad para la vegetación. La capacidad de un suelo para transformar N-orgánico de la MO a N-inorgánico se ha relacionado con los índices de N disponible en los ecosistemas terrestres. La mineralización de N de la MO, se refiere al incremento neto en el suelo tanto de NH_4^+ como de NO_3^- , aunque también otras formas inorgánicas son producidas (NO_2^- , N_2O y NO_x). En el suelo, la mineralización de otros elementos así como del N-orgánico, esta mediada por procesos, químicos, bioquímicos y microbianos.

El contenido de N y su proporción respecto al C (C/N) en la MO, es uno de los factores que determina su velocidad de mineralización; por ello, el N influye más que otro nutriente sobre el desarrollo de la vegetación forestal (Carter *et al.*, 2002; Manson y Falkengren-Grerup, 2003).

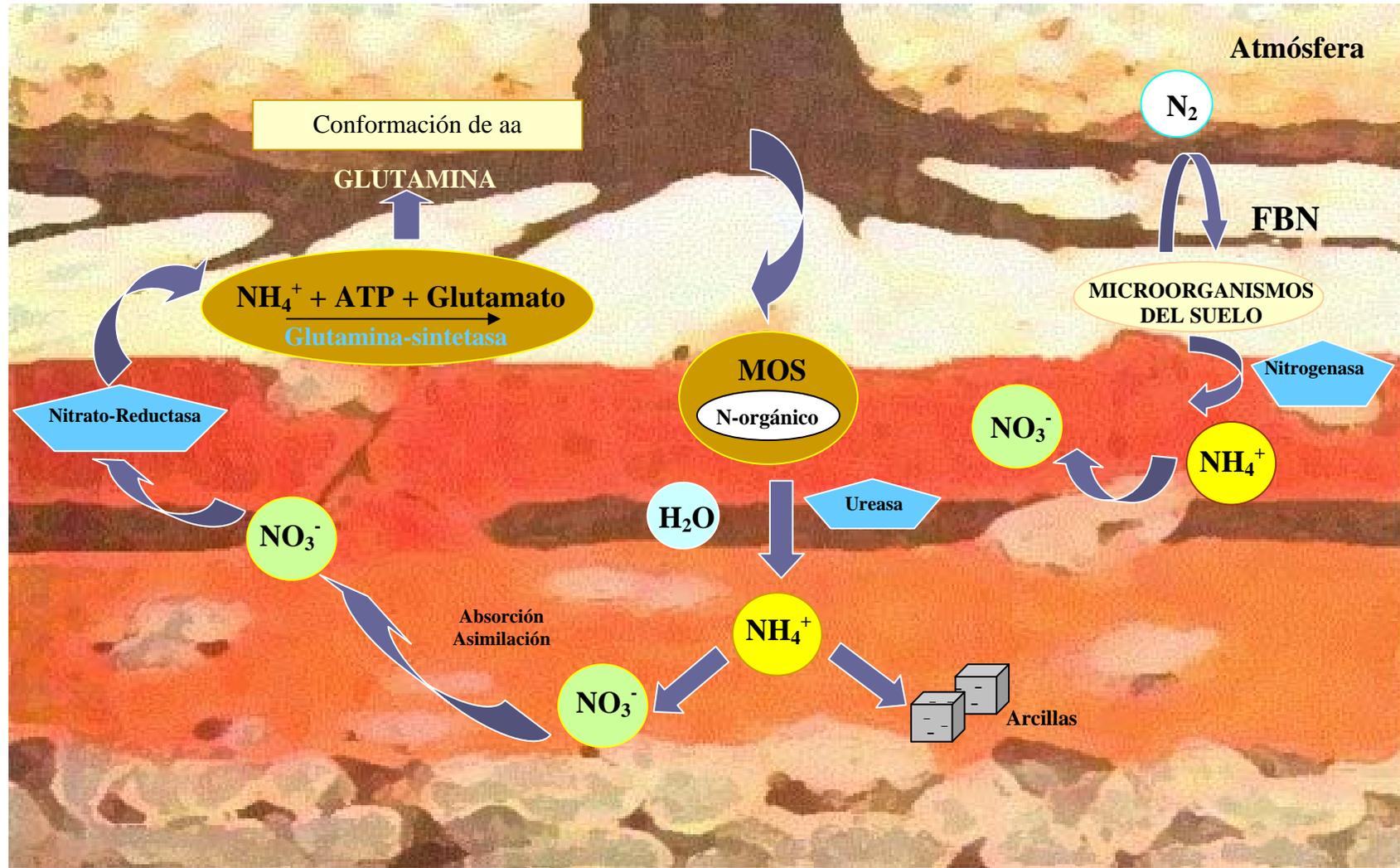


Figura 9. Esquema de los mecanismos por los cuales el N llega a ser asimilado por las plantas

La mayoría de los procesos relacionados con el ciclo del N que ocurren entre el suelo y la vegetación, el cual inicia su ingreso al suelo mediante detritos vegetales y microbianos, mineralización (amonificación), nitrificación autotrófica y heterotrófica, inmovilización de NH_4^+ y NO_3^- y finalmente la absorción de estos iones por las plantas. La amonificación así como la nitrificación e inmovilización (Figura 10), son procesos microbianos lo cual es sustento de la alta correlación ($r=0.75$) reportada por Smith *et al.*, (1993), para cien suelos de Saskatchewan.

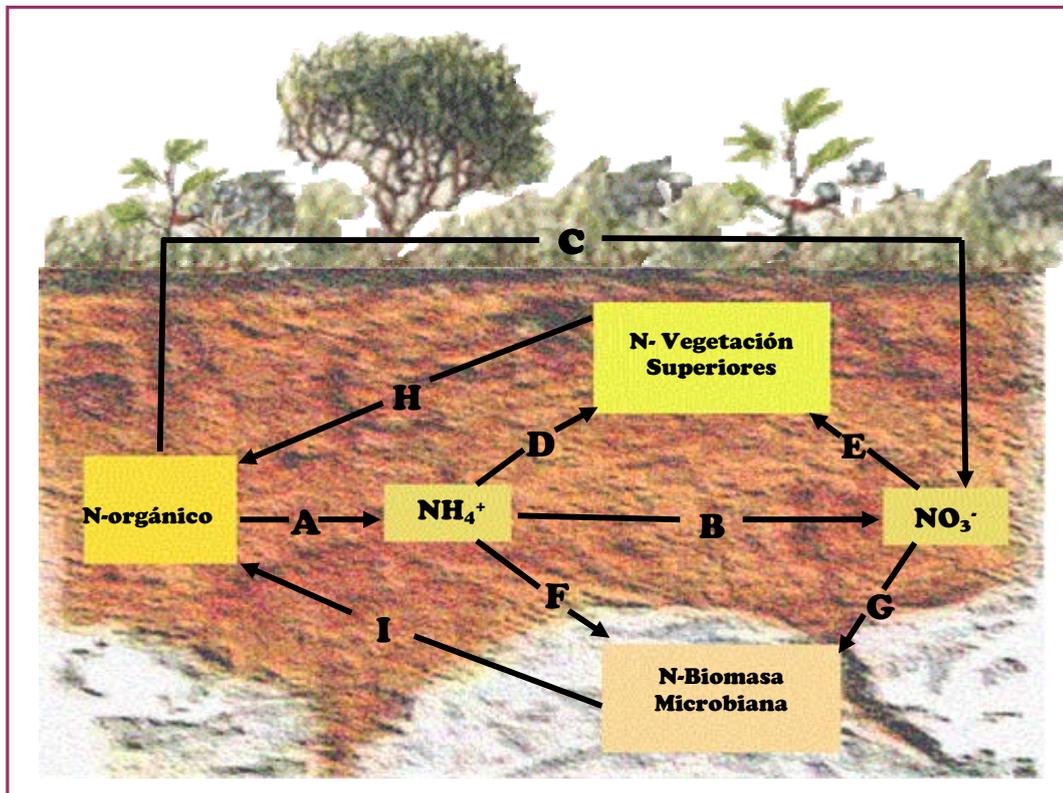


Figura 10. Transferencia y Transformación en el ciclo interno del N en los ecosistemas terrestres

A, Mineralización; B, nitrificación autotrófica; C, nitrificación heterotrófica; D, absorción de amonio por las plantas; E, absorción de nitratos por las plantas; F, inmovilización de amonio; G, inmovilización de nitrato; H, ingreso por detritos vegetales; I, ingreso por detritos microbianos.

3. JUSTIFICACIÓN

Con esta investigación se pretende contribuir en el conocimiento de la calidad de los suelos forestales y la función que desempeña la actividad ureasa, en tres áreas naturales protegidas de nuestro país para considerarla en los planes de manejo y conservación de estos ecosistemas.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- ❖ Conocer la actividad de la ureasa del suelo y su relación con la dinámica de N y C en un gradiente altitudinal de tres zonas con bosques templados

4.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- ❖ Determinar el potencial que puede tener la actividad ureasa como indicador de calidad del suelo
- ❖ Determinar los contenidos de N y MO en el suelo y la relación con la AU, así como la relación y comportamiento que éstos guardan.

5. HIPÓTESIS:

Dado que una forma de liberar NH_4^+ a partir de la materia orgánica del suelo (MOS) es la actividad ureasa (AU), entonces a menor cantidad de nitrógeno contenido en la MOS, la AU será mayor en bosques templados.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Descripción de las zonas de trabajo

6.1.1 Reserva de la Biosfera “El Cielo”

Se localiza dentro de la provincia de la Sierra Madre Oriental. “El Cielo” Comprende 114,530 ha, en parte de los municipios de Llera, Gómez Farias, Ocampo y Jaumave en el Estado de Tamaulipas (Figura 14). Las altitudes varían desde 300 hasta los 2, 200 m. La orografía y su cercanía del Golfo de México inducen lluvia o niebla casi todo el

Figura 11. Vista del Cerro de la campana en la RBEC



año (humedad relativa en el bosque mesófilo mayor a 90%). Existen tres tipos de climas principales: clima semicalido húmedo, estación seca corta (3-4 meses), clima templado subhúmedo, estación seca media (5-6 meses). Las condiciones geográficas de la Reserva y su orografía, conforman una barrera natural para los vientos húmedos este y del suroeste; de esta manera se descargan aquí grandes cantidades de humedad en forma de lluvia o de neblina (Casas y Requema 2005). La temperatura media del mes más frío es mayor de 18°C y la precipitación anual entre 1500 y 2000 mm. La región de la reserva se ubica en la vertiente este de la Sierra Madre Oriental, está constituida principalmente por masas calcáreas secundarias, que se formaron durante el Cretácico Inferior y que pertenecen a la formación Tamaulipas. En general, en todas las zonas de la sierra predominan suelos derivados de la disolución de calizas, donde existen diferentes asociaciones de suelos relacionados principalmente con la topografía, geomorfología y litografía. (Puig, 1976; Sosa, 1987 y Rzedowski, 1978, citados en Challenger, 1998).

Vegetación

Los tipos de vegetación presentes se restringen a los siguientes: Bosque tropical subcaducifolio, Bosque mesófilo, Bosque de *Quercus* y Bosque de coníferas de los cuales se describe con cierto detalle a los *Quercus* y de *Pinus*:

Bosque de *Quercus* o Encinares desarrollados de 700 a 1,000 m, en donde las especies presentes son; *Quercus crisophylla*, *Q. germana* y *Q. xalapensis*. Diferentes árboles y arbustos propios de bosque mesófilo se encuentran aquí como las epifitas y lianas (*Antigonum*, *Dioscorea*, *Serjania* y *Smilax*).

Bosque de coníferas desarrollados por arriba de los 1,400 m encontrando especies como *Pinus patula*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus*, además algunos encinos (*Quercus crassifolia* y *Q. afines*), arbustos como *Eupatorium sp.*, *Gaultheria sp.*, *Myrica*, *Staphylea* y *Vaccinium*.

6.1.2 Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl

Figura 12. Vista del Volcán Popocatépetl



Se localiza en la Sierra Volcánica transversal; con 25, 679 ha de extensión, limita al norte y oeste con San Salvador el Verde, Domingo Arenas, San Nicolás de los Ranchos y Tochimilco municipios de Puebla y al Sur con Tetela del Volcán, estado de Morelos (Figura 14). Los suelos presentes en esta zona son Regosol

dístrico, Litosol, Andosol mólico y Cambisol eútrico. Presenta cuatro ríos (Amecameca, Molinos, Akal y Atila) así como escurrimientos perennes menores. En la zona se presentan dos tipos de clima: ETH muy frío, lluvias en verano, temperatura media anual menor de -2°C , temperatura media anual de 5 a 12°C , la del mes más frío de 3 a 18°C .

Vegetación

Existen *Pinus harwegii*, *P. ayacahuite*, *P. pseudostrobus*, *Alnus mexicana*, *Abies religiosa*, *Cupresus lindleyi*, *Clethra mexicana*, *Quercus mexicana*, *Q. crassipes*, *Q. rugosa* y *Q. macrophylla*, *Arctostaphylos arguta*, *Buddleia chordata*.

6.1.3 Parque Nacional Zoquiapan y Anexas

De acuerdo con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2006), el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas. Tiene una superficie de 19,418 ha, que influye en la Zona Protectora Forestal Montes de la Hacienda de Zoquiapan, Río Frío e Ixtlahuacan y queda comprendido dentro del macizo montañoso denominado Sierra Nevada que flanquea el oriente de la Cuenca de México (Figura 14). Forma parte de la provincia fisiográfica conocida como Sistema o Eje Volcánico Transmexicano que presenta importantes elevaciones como el Tláloc (4,120 m), el Yoloxóchitl (3,900 m), el Telapón (4,060 m) y el Papayo (3,600 m).

Figura 13. Vista de el Volcán Iztaccihuatl



La conformación geológica de la Sierra Nevada inicia a mediados de la era Terciaria a partir de emisiones de lava que emergieron a través de calizas plegadas que afloran a trechos en la parte baja al sur del Popocatepetl; las emisiones fueron sucesivamente de dacitas que forman los picos de la parte central de la Sierra: Tláloc y Telapón; andesitas que conforman el Iztaccihuatl y el Popocatepetl; y grandes cantidades de basalto en formaciones recientes (Valderrábano, 2005). La variación de clima abarca desde el Templado húmedo hasta el muy frío, con ligeras variaciones en la precipitación y porcentaje de lluvia invernal, la temperatura media del mes más frío es de -3 y 18° C, con una precipitación pluvial de 1,000 mm anuales (CONABIO, 2005)

Vegetación

De acuerdo a su ubicación, los bosques responden principalmente a gradientes altitudinales y de topografía. En general, de los 2,500 a los 4,000 m encontramos bosques perennifolios del género *Pinus*; en la franja más alta predominan el *Pinus hartwegii*, seguido de *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus rudis*; acompañados algunas veces por *Pinus leiophylla* y *Pinus teocote*. A veces se presentan conviviendo con *Quercus*, *Juníperus* o *Alnus*, en suelos Andosol o Litosol. Entre los 2,500 y 3,500 m suelos Andosoles ricos en materia orgánica, profundos, bien drenados y húmedos durante todo el año, encontramos el Bosque de *Abies religiosa* (Oyamel); acompañado en ocasiones por *Pinus ayacahuite*, *Alnus jorullensis*, *Quercus laurina*, *Salix oxylepis*, *Prunus serotina*, *capuli* y *Cupressus lindleyi* (CONANP, 2006).

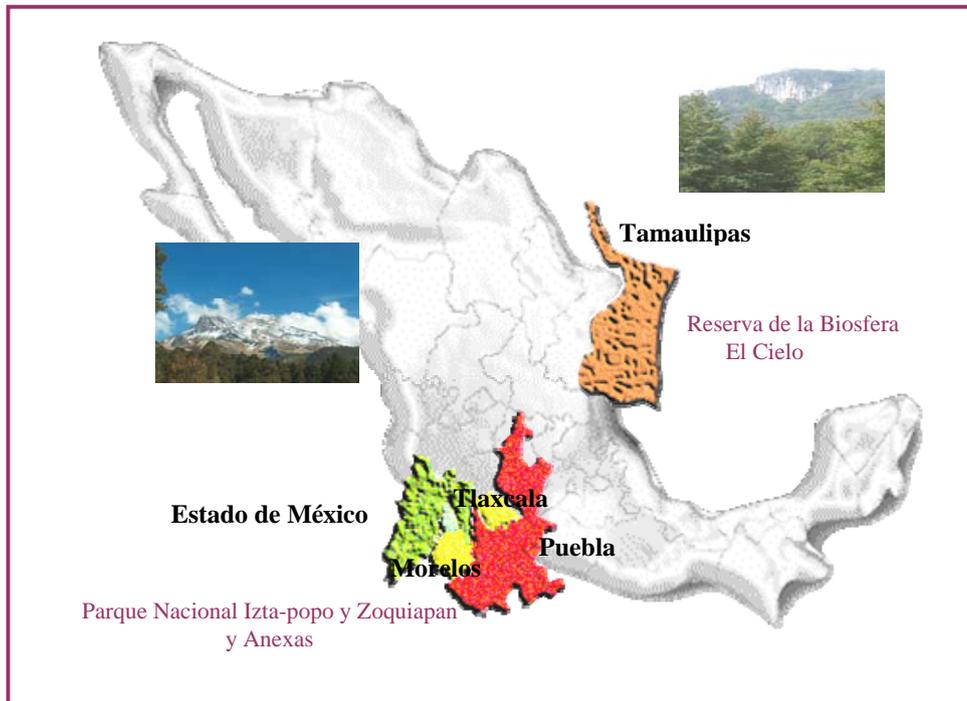


Figura 14. Localización geográfica de las zonas de estudio

6.2 Delimitación de la zona de trabajo

En las Figuras 15 y 16 se muestran las imágenes de satélite con los puntos de muestro en cada una de las zonas de estudio. La delimitación de las unidades ambientales, se hizo con base en un criterio topográfico y por la distribución altitudinal de las especies de los géneros correspondientes a los bosques templados (*Pinus*, *Abies* y *Quercus*), para cubrir los objetivos planteados. De tal manera que al llegar a las zonas de estudio se eligieron dichas unidades que fuesen representativas del ecosistema, posteriormente se trazó con ayuda de cuerdas un cuadrante de 20x50 m, dentro del cual se obtuvieron las muestras de suelo, tejido foliar y mantillo.

6.3 Toma de muestras

6.3.1 Muestras de suelo

Indicadores físicos y químicos

Se tomaron con una pala, cuatro submuestras de 0-20 cm de profundidad, con aproximadamente 1 kg de peso representando la misma sección del perfil. Cada submuestra fue tomada de un sitio lo menos perturbado posible. Las muestras fueron mezcladas homogéneamente obteniendo así, una muestra compuesta de 2 kg de peso, que se colocó, etiquetó y trasladó en bolsas plásticas al laboratorio para su posterior análisis.

Indicadores bioquímico y biológico

Para la determinación de la actividad enzimática en el suelo, se tomaron cuatro submuestras a una profundidad de 0 a 10 cm, con la ayuda de un cilindro. Las cuales se mezclaron para formar la muestra compuesta, la cual se trasladó en bolsas de cierre hermético debidamente etiquetada para su posterior análisis en el laboratorio.

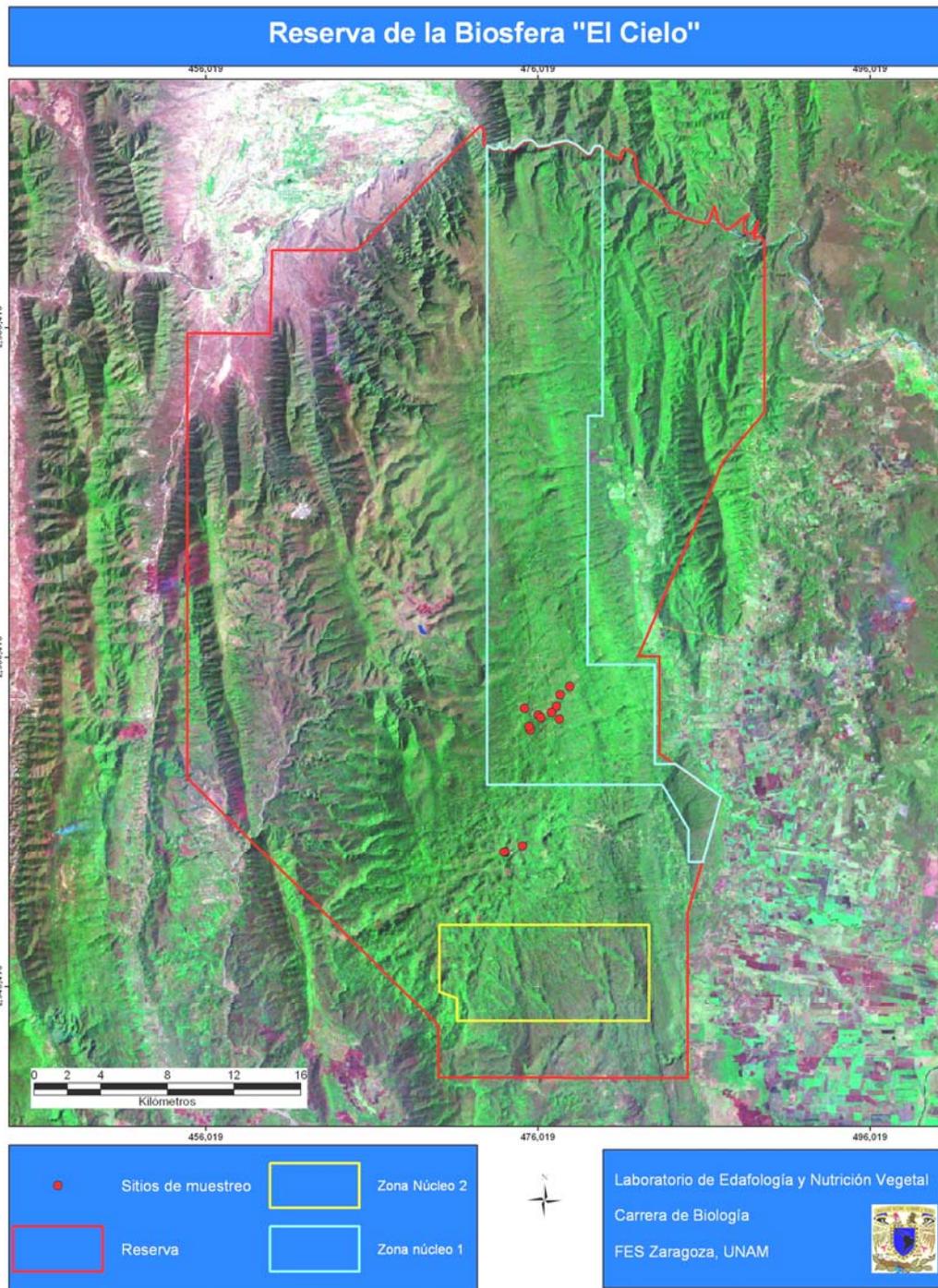


Figura 15. Imagen de satélite que muestra el polígono de la RBEC, los puntos en rojo muestran los sitios de las unidades ambientales estudiadas

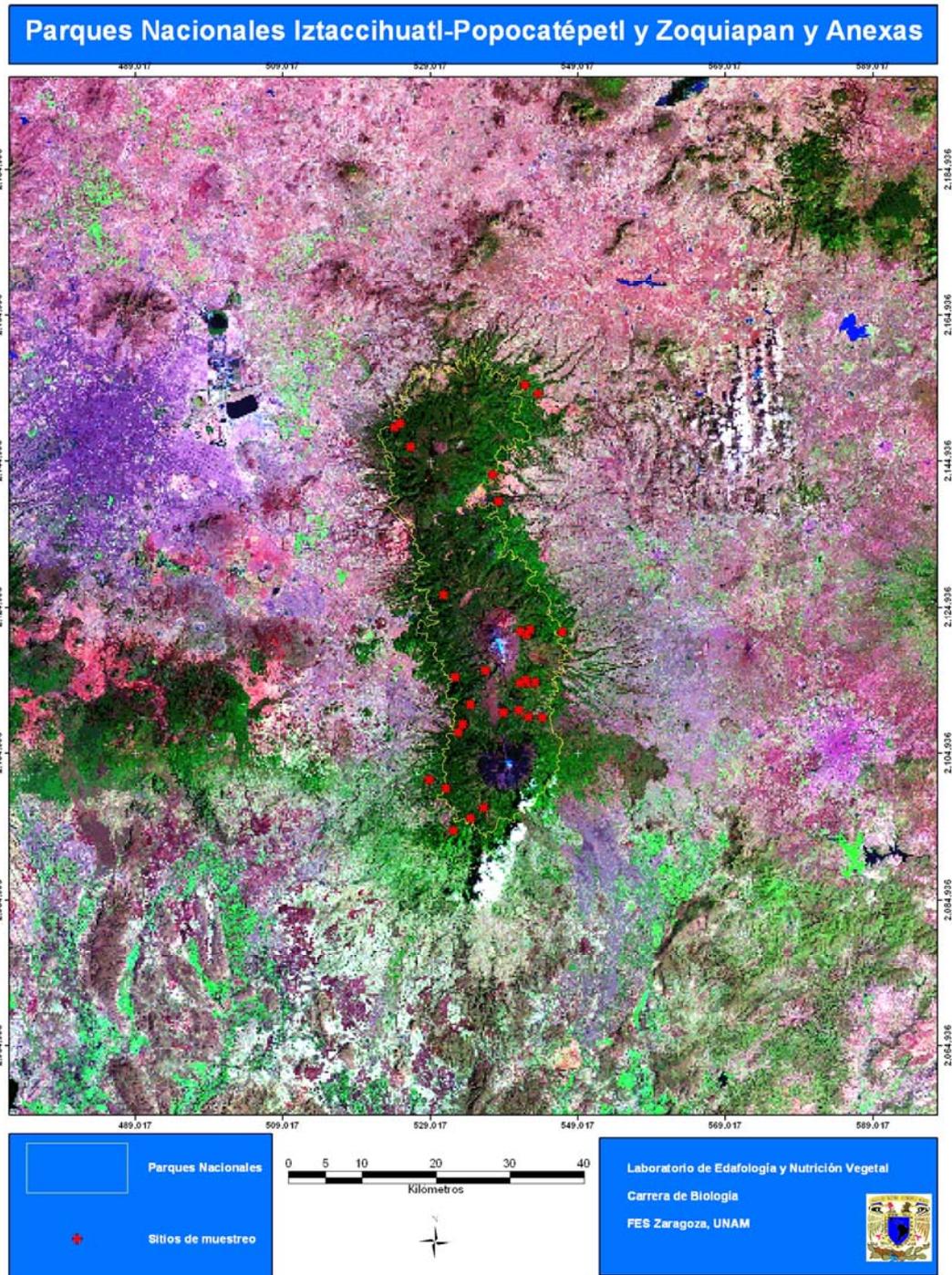


Figura 16. Imagen de satélite que muestra el polígono de los PNIP y PNZA, los puntos en rojo muestran los sitios de las unidades ambientales estudiadas

6.3.2 Muestras Foliares

Se seleccionaron de cuatro a seis individuos de las especies o géneros presentes dentro de las unidades ambientales visitadas, la selección se realizó con base en la edad de los árboles dominantes en el sitio, excluyendo aquello que presentaron plaga, ocoteo o incendio y se procedió a cortar hojas que correspondieran a los dos últimos años de crecimiento, ya que en estas se encuentra la mayor cantidad de nutrimentos, las hojas fueron trasladadas al laboratorio en bolsas de papel.

6.3.3 Muestras de mantillo

Se trazaron cuatro cuadrantes de 25x25 cm en cada una de las unidades ambientales, colectando el mantillo depositado en el suelo, las cuales se trasladaron al laboratorio en bolsas de papel.

6.4 Pretratamiento de las muestras

Previo a los análisis físicos y químicos del suelo, las muestras fueron secadas al aire en un lugar libre de contaminación. Una vez secas, se paso por un tamiz de 2 mm de apertura y se colocaron en frascos de plástico.

Para los análisis bioquímicos, las muestras se mantuvieron en refrigeración a una temperatura de 4 °C, con el fin de mantener en condiciones óptimas a las enzimas y reducir el metabolismo microbiano en el suelo (Ross, 1989). Para la determinación de la actividad enzimática se procedió a secar y tamizar las muestras, a fin de eliminar restos de materia orgánica y fragmentos de material mineral grueso.

Las muestras foliares y de mantillo fueron colocadas en una estufa marca FELISA modelo FE131 a una temperatura de 70°C, hasta obtener un peso constante. Una vez secas las hojas fueron molidas y tamizadas en una malla del número 20 en un molino Thomas Scientific, almacenándolas en frascos de polietileno.

6.5 Determinación en laboratorio

6.5.1 Análisis Físicos y químicos en suelo

- ❖ pH activo relación suelo: agua 1:2 por el método potenciométrico (Jackson, 1964)
- ❖ pH potencial en solución salina KCl 1N en relación 1:2 por el método potenciométrico (Jackson, 1964)
- ❖ Conductividad de la solución del suelo relación 1:5, con un conductivímetro (Richards, 1990)
- ❖ Textura por el método de Bouyoucos (Bouyoucos, 1963, citado por Palmer y Truch, 1989)
- ❖ Densidad real por la técnica del picnómetro y la aparente por la técnica de la probeta (Domínguez y Aguilera, 1982)
- ❖ Materia orgánica por el método de Walkley y Black (Walkley y Black, 1934, citado en Jackson, 1964)
- ❖ Porcentaje de nitrógeno total por el método semimicro-Kjendahl (Bremmer, 1965)
- ❖ Carbono orgánico (López-Ritas y López- Mérida, 1990)

6.5.2 Análisis bioquímico en suelo

- ❖ Actividad de la enzima ureasa por el método de Tabatabai, 1994.

- ❖ Evolución de CO₂ y determinación de carbono en biomasa microbiana mediante el método de fumigación-incubación por el método estequiometrico de CO₂ (Powlson *et al*, 1987).

6.5.3 Análisis químicos en tejido vegetal

- ❖ Nitrógeno total por el método semimicro-Kjendahl (Bremmer, 1965)

6.5.4 Análisis estadístico

Con los resultados obtenidos de los análisis químicos, físicos y bioquímicos se realizaron pruebas de análisis de varianza y correlaciones.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 DESCRIPCIÓN FISIOGRAFICA DE LAS UNIDADES AMBIENTALES ESTUDIADAS

7.1.1 Reserva de la Biosfera El Cielo

Esta zona se caracterizó por la presencia de pendientes pronunciadas entre 40 y 90%. La exposición N se encontró con mayor frecuencia y relacionada a las comunidades forestales *Pinus-Abies*. La presencia de los grupos de suelo que corresponden a los Luvisoles y Rendzinas (Figura 18) se presentaron a lo largo de todo el gradiente altitudinal de 1300 a 2050 m asociados en mayor parte a comunidades de *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. montezumae*, *A. Vejarii* y *Quercus crassifolia*. Los Luvisoles caracterizados por presentar un color rojo intenso de fertilidad moderada (Aguilera, 1989), se presentaron a los 1865 y 1935 m (Cuadro 2).

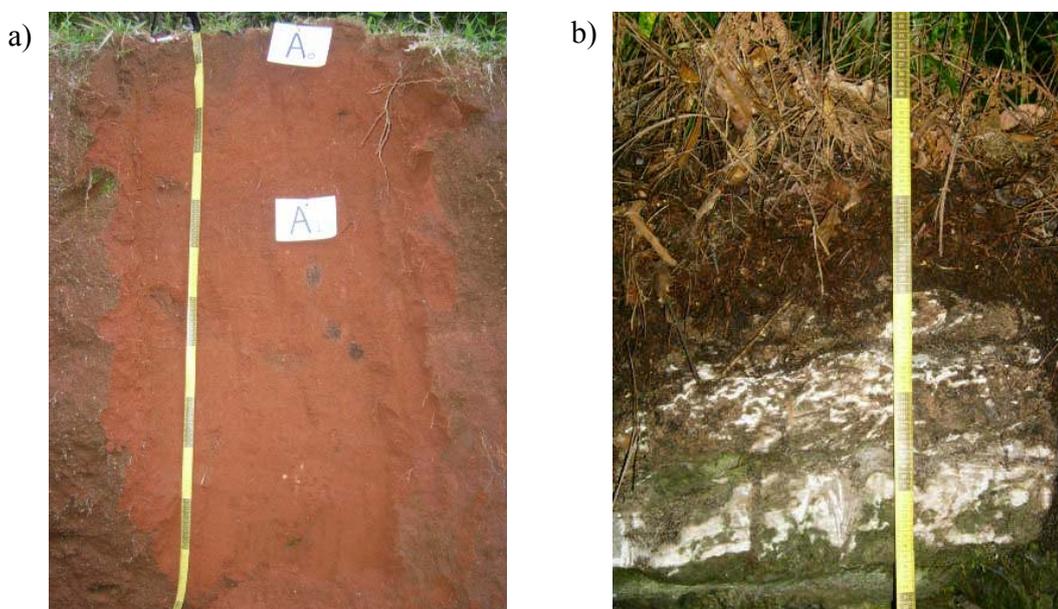


Figura 18. Suelos característicos de la RBEC. a) Luvisol, b) Leptosol

Cuadro 2. Descripción geográfica de los sitios de muestreo en la Reserva de la Biosfera El Cielo.

Sitio	Observación de los sitios de muestreo					Vegetación	Grupo de suelo
	Longitud	Latitud	Altitud	Pendiente	Exposición		
	UTM		m	%			
Valle del Ovni	2557411	477127	1316	27	N	<i>P. patula</i>	Leptosol Rendzinas
Sur de Julilo	2558656	477924	1563	10	NE	<i>P. patula</i>	Leptosol crómico Rendzinas
NE de la Gloria	2548992	475073	1566	45	NE	<i>P. pseudostrobis, A. vejarii</i>	Rendzinas Leptosol crómico
S de la Gloria	2548642	474050	1645	50	NW	<i>P. pseudostrobis, A. vejarii</i>	Rendzinas Leptosol crómico}
SW de la Gloria	2548632	473969	1653	45	NW	<i>A. vejarii</i>	Rendzinas Leptosol crómico
SW de Julilo	2558172	477349	1672	9	NE	<i>P. pseudostrobis, A. vejarii</i>	Leptosol, Rendzinas
W de la Gloria	2548588	474067	1709	90	N	<i>P. sp, Q. sp, Q. crassifolia</i>	Rendzinas Leptosol crómico
El Porvenir	2557411	477127	1746	27	N	P. patula, A. vejarii	Leptosol Rendzinas
NE del Porvenir	2557042	476839	1774	6	NE	<i>P. pseudostrobis</i>	Leptosol Rendzinas
NE del Porvenir	2556640	477293	1865	35	N	<i>P. patula, A. vejarii</i>	Luvisol crómico
N del Porvenir	2556761	476188	1873	31	SE	<i>P. pseudostrobis</i>	Luvisol crómico
NE del Porvenir	2556901	476024	1935	70	NE	A. vejarii	Luvisol crómico
NW del Porvenir	2556013	475547	1960	12	W	<i>P. pseudostrobis</i>	Leptosol Rendzinas
W del Porvenir	2556203	475492	1972	8	W	<i>P. pseudostrobis, P. patula A. vejarii</i>	Leptosol, Rendzinas
NW del Porvenir	2557302	475198	2054	9	NE	<i>P. montezumae, P. patula P. pseudostrobis</i>	Leptosol Rendzinas

Los grupos de suelo se citan con referencia en el mapa edafológico 1:5000 F14A49. Gómez Farías

7.1.2 Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl

En esta zona de estudio se encontraron comunidades de bosques templados, constituidos en asociaciones vegetales de los géneros *Pinus*, *Abies* y *Cupresus* desde una altura de 2650 y hasta los 3828 m, el 45% de los sitios de observación presentaron pendientes entre 20 y 40 %. La asociación *Pinus-Abies*, en la exposición N presentó el mayor índice de frecuencia. En 20 sitios visitados y a lo largo del gradiente altitudinal se observó un mosaico edáfico en relación con la vegetación arbórea, siendo para el intervalo altitudinal 2650 a 3312 m, los Andosoles húmicos asociados a Leptosoles y Regosoles eutrícos soportan a comunidades de *P. pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. patula*, *P. teocote*, *P. ayacahuite* y *A. religiosa*. En el intervalo 3333 a 3982 m, se encontró a los Andosoles húmicos, Regosoles distritos y Leptosoles asociados a *P. hartwegii*, *P. teocote* y *A. religiosa*. Los Regosoles, son los más abundantes a lo largo del gradiente, son suelos delgados sobre material no consolidado, pobres en materia orgánica. Tienen secuencia de horizontes AC. La vegetación natural presente en estos suelos son los bosques de *P. hartwegii* y *P. pseudostrobus*, en asociación con *A. religiosa* y zacatonal subalpino, estas distribuciones coinciden con las reportadas por Anaya, 1962 citado por Granados, 2003. En este sentido los Andosoles se encontraron asociados principalmente al *P. patula*, *P. teocote*, *P. hartwegii* y *A. religiosa*, este grupo de suelo se caracteriza por su origen volcánico, perfil aparentemente AC, sin embargo sobre roca consolidada. En algunos casos se puede formar un horizonte B de poco espesor. Son suelos con un Horizonte A mólico o umbrico situado sobre un horizonte B cámbico o con un horizonte A ócrico, sin otro horizonte de diagnóstico (Cruz, 2006) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Descripción geográfica de los sitios de muestreo en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl.

Observación de los sitios de muestreo							
Sitio	Longitud	Latitud	Altitud	Pendiente	Exposición	Vegetación	Grupo de suelo
	UTM		m	%			
W-D14	2101 465	528925	2650		N	<i>P. pseudostrodus</i>	Andosol
Barranca apaxco	2094 455	532177	2834	60	NW	<i>P. montezumae, A. Religiosa</i>	Regosol eutríco Leptosol Andosol húmico
La Papa Acatzi	2121540	546875	2964			<i>P. montezumae, P. patula</i>	Leptosol Regosol distrito Andosol húmico
S de el Salto	2 096137	534478	3099	8	NW	<i>P. patula, A. religiosa</i>	Regosol eutríco Leptosol Andosol húmico
La Ventana	2109851	544221	3127	16	E	<i>P. ayacahuite, P. pseudostrabus</i>	Regosol eutríco
O16	2100270	531169	3225	55		<i>Abies religiosa</i>	Phaeozem
SE barranca Tlalquecotchtol	2 14683	543181	3281	45	SE	<i>P. ayacahuite, A. religiosa, Cupressus. sp</i>	Regosol eutríco Fluvisol eutríco
Valle	2 26706	530838	3301	24	NW	<i>P. teocote, A. religiosa</i>	Andosol
El Americano	2097 53	536262	3312	20	S	<i>P. hartwegii, A. religiosa</i>	Regosol eutríco Leptosol Andosol húmico
Agua Escondida	210002	542286	3333	60	E	<i>P. montezumae, P. teocote</i>	Regosol
La Venta	2110845	541056	3418	20	E	<i>P. teocote, P. hartwegii</i>	Regosol
S barranca tlalquecotchtol	214 526	542103	3425	40	S	<i>P. hartwegii, A. religiosa</i>	Regosol eutríco
Tlalcomajada E de tetorre	2121 800	54 529	3512	61	N	<i>P. montezumae, P. sp, A. Religiosa</i>	Leptosol Regosol distrito Andosol húmico
SW barranca talquecotchtol	2114 562	541221	3540	35	S	<i>P. hartwegii, A. religiosa</i>	Regosol eutríco
F1	2111 637	534534	3553	40	W	<i>Pinus hartwegii</i>	Phaeozem
Pela Gallina	2110546	538910	3615	8	NE	<i>Pinus teocote</i>	Regosol distrito Cambisol eutríco
S barranca tlalquecotchtol	211 007	54 942	3667	60	N	<i>P. hartwegii</i>	Regosol eutríco
Chalpoapa N de tetorre	2121193	54 010	3696	21	N	<i>P. hartwegii</i>	Leptosol Regosol distrito Andosol húmico
La laguna xahuehualco	2121 616	541183	3828	24	N	<i>P. hartwegii</i>	Leptosol Regosol distrito Andosol húmico
La Joya	2116250	536507	3982			<i>P. hartwegii</i>	Regosol Litosol

Los grupos de suelo se citan con referencia en el mapa edafológico 1:5000 E14B51. Cuatla; E14B41. Amecameca; E14B42. Huejotzingo; E14B52. Atlixco.

7.1.3 Parque Nacional Zoquiapan y Anexas

En esta Área Natural protegida se realizaron 10 sitios de observación en donde se encontraron comunidades forestales a una altitud de 2864 a 3537 m, donde el porcentaje de pendiente fue de 30 a 80%, Como en el caso de las dos zonas de estudios anteriores, la exposición en la cual se observó a los géneros *Pinus*, *Abies* y *Quercus* fue al N en casi el 50% de los sitios. Con respecto a los grupos de suelos asociados a la vegetación arbórea, se encontró que de los 2860 a 2950 m existe una marcada relación entre los Andosoles húmicos (Figura 19), Cambisol húmico y Leptosol, los cuales sostienen a comunidades de *P. sp.*, *A. religiosa* y *Cupressus sp.* El grupo de los Cambisoles es uno de los grupos de suelos mejor representados a lo largo de el gradiente y asociados a unidades ecológicas bien definidas, este tipo de suelo se caracteriza por presentar un perfil A₁(B)C, horizonte B de alteración cámbico, formado en condiciones aerobias. Los Leptosoles, son suelos con presencia de roca muy dura a poca profundidad, secuencia de horizontes AR, profundidad menor a 10 cm, pobre en materia orgánica y muy susceptible a la erosión con fuerte pendiente. Otro de los grupos de suelo que se encuentra en menor proporción a la asociación anterior son los Phaeozems los cuales se localizaron a una altitud de 2965 y 3286 m relacionados con *A. Religiosa*, los cuales se caracterizan por superficies oscuras mas lixiviadas que los Castañozems, perfil ABC o AB₁C tiene horizonte A mólico, oscuro rico en materia orgánica y nutrimentos, sus valores de pH están entre 5.5 y 6.0 (Cruz, 2006) (Cuadro 4).



Figura 19. Perfil de suelo característico del PNZA (Andosol)

Cuadro 4. Descripción geográfica de los sitios de muestreo en el Parque Nacional Zoquiapan y Anexas.

Sitio	Observación de los sitios de muestreo					Vegetación	Grupo de suelo
	Longitud	Latitud	Altitud	Pendiente	Exposición		
	UTM		m	%			
S de Los Colgados	2254106	543584	2864			<i>Pinus sp</i>	Andosol humico Cambisol humico Leptosol
NW de Texola	2139414	538309	2876	33	N	<i>Pinus sp</i>	Cambisol humico Cambisol eutrico
S de La Vaqueria	2155277	514979	2950		NE	<i>P. sp, A. religiosa</i> <i>Cupresus sp.</i>	Andosol humico Cambisol humico Leptosol
D11 Cañada La Coquia	2107890	532782	2965	25	SW	<i>Abies religiosa</i>	Phaeozem
Cañada Atlapulco	2149554	524251	3033	35	NE	<i>Quercus sp, A. religiosa</i>	Andosol
S de la Barranca del Paso del Muerto	2114075	537553	3036	80		<i>P.sp, A. religiosa</i>	Cambisol húmico Cambisol eútrico
Sn Miguel Tlaxpan	2150047	524968	3066	55	E	<i>Quercus sp</i>	Andosol Cambisol Andosol
Pto. 8	2115364	532419	3231	65	NE	<i>Quercus sp, A. religiosa</i>	
01 Sn. Pedro	21089985	533405	3286	60	SW	<i>Abies religiosa</i>	Phaeozem
Puerto Mancilla	2146877	526376	3537	28	SE	<i>P. sp, A. religiosa</i>	Cambisol

Los grupos de suelo se citan con referencia en el mapa edafológico 1:5000 E14B51. Cuatla; E14B41. Amecameca; E14B42. Huejotzingo; E14B52. Atlixco.

Datos que también se presentan en otros trabajos realizados sobre actividad de las enzimas fosfatasa y del contenido de ácidos húmicos y Fúlvicos como indicadores de calidad del suelo

7.2 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas del suelo se alteran con menor facilidad que las químicas durante el manejo forestal. Las propiedades físicas tienen una importancia primordial para el desarrollo vegetal. Con referencia a éstas el pH tiene efectos sobre el crecimiento de los árboles y sobre las condiciones del suelo como la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrimentos.

Con referencia al pH, se encontró en la RBEC que la mayoría de los suelos son moderadamente ácidos (5.5) mientras que en los del PNIP y PNZA tuvieron mayor acidez (5.4) lo que se puede atribuir a la naturaleza del material parental de los suelos y al cúmulo de hojarasca en el mantillo. Con el ANOVA, se encontró que para los cuarenta y cinco sitios estudiados el pH recibió influencia significativa de los factores: ANP, Pendiente del terreno y Exposición ($F=14.17$, $F=60.6$ y $F=6.33$ respectivamente; $P \leq 0.001$). Fassbender y Bornemisza (1987), menciona que en los suelos ácidos, pH menor a cinco, se limita la acción bacteriana y favorece la reproducción de hongos resultando una menor eficiencia en la mineralización y humificación con la consecuente acumulación de MOS. Estos resultados concuerdan con lo expuesto por Pritchett (1986) acerca de que los suelos forestales presentan pH de moderado a extremadamente ácido, por la liberación de ácidos orgánicos durante la descomposición de la MOS y la lixiviación de las bases intercambiables (Cuadro 5).

Cuadro 5. Propiedades físicas de los suelos encontradas en los sitios de muestreo.

Altitud m	pH _{activo}	pH _{potencial}	CE dS m ⁻¹	DA g cm ⁻³	DR	EP	Arcilla	Limo	Arena
							%		
Reserva de la Biosfera El Cielo									
[‡] 1300-1500	5.6	4.3	0.06	1.1	2.4	58.67	21	8	71
1501-1700	5.6	4.8	0.09	0.7	2.5	72.74	19.4	28.4	52.2
1701-1900	5.0	4.7	0.16	0.7	1.9	62.27	19.2	21	59.8
1901-2100	6.0	4.8	0.23	0.7	1.8	58.86	21.8	24	54.2
Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl y Zoquiapan y Anexas									
2501-2700	5.3	4.9	0.03	1.3	2.3	42.67	8.8	18	73.2
2701-2900	5.6	5.0	0.04	0.8	2.3	62.30	15.2	30	54.8
2901-3100	5.5	4.8	0.05	0.9	2.2	51.42	12.8	29.2	58.0
3101-3300	5.8	5.1	0.06	1.0	1.8	40.00	7.7	22.4	69.1
3301-3500	5.6	4.6	0.04	1.0	1.9	45.18	8.5	20.5	71.0
3501-3700	5.5	4.5	0.03	1.0	2.4	56.38	6.1	22.6	70.5
3701-3900	4.7	3.1	0.05	0.8	2.5	68.18	6.6	33	60.4

[‡] Valores promedio de tres sitios para cada una cuatro intervalos altitudinales.

Para la CE que expresa el contenido de sales, se encontraron valores entre 0.06 y 0.23 dS m⁻¹ en la RBCE mientras que para los PNIP y PNZA los valores fueron más bajos (0.03 a 0.06 dS m⁻¹) de lo que se deduce, con la relación entre pH y CE que estos suelos no tienen propiedades salinas.

Además de ser una variable de estudio, los valores de DA fueron utilizada para estimar los capitales de C y N y la cantidad de NH₄⁺ variables que recibe influencia de la cantidad y naturaleza de la MOS y de la actividad de la flora y fauna, también la DA influye sobre el porcentaje de espacio poroso, contenido de humedad y además para estimar los capitales de nutrientes en el suelo. Con respecto a los valores de densidad, se encontró que los suelos de las tres áreas estudiadas tuvieron valores de 0.67 a 1.3 g cm⁻³, de manera que los porcentajes de porosidad fueron altos (40 y 68%) por consecuencia también una textura media fina; Los valores de DR estuvieron entre 1.8 y 2.5. Pritchett (1986) menciona que

la porosidad de los suelos forestales varía del 30 al 65% y que los suelos que sostienen bosques mixtos pueden tener mayor volumen poroso a diferencia de los bosques de una sola especie (Cuadro 5).

La textura del suelo influye sobre la humedad, aireación y disponibilidad de nutrimentos. En los suelos de los bosques de pino de la RBEC en el intervalo altitudinal de 1300 a 1500 m se presentaron dos clases texturales, migajon arenoso y arena migajonosa; entre 1500 y 2100 las clases de textura dominantes fueron migajon y arena migajonosa, caracterizadas por sus altos contenidos de arena (52 a 71%) y arcilla (19 a 21%), mientras que la clase textural más común en los suelos de PNIP y el PNZA a lo largo del gradiente altitudinal estudiado fue Migajon Arenoso (Cuadro 5). En este sentido Bockheim (1991) mencionó que los suelos forestales con presencia de pino, oyamel y robles, se caracterizan por sus texturas gruesas e influyen indirectamente en su productividad. Pritchett (1986) cita que los suelos arenosos profundos y gruesos, a menudo sostienen comunidades de pino, cedros y robles con bajos requerimientos de humedad y nutrimentos. En consecuencia, la productividad de este tipo de suelos aumenta con el incremento de los porcentajes de limo y arcilla con la cual también se elevan los contenidos de N al que presentaron los suelos arenosos (Fassbender y Bornemisza 1987).

Los suelos estudiados mostraron que los contenidos de arcilla ($F=2027.5$, $P\leq 0.0001$), limo ($F= 9999.9$, $P\leq 0.0001$) y la arena ($F= 4073.8$, $P\leq 0.0001$) presentaron efecto significativo para las ANP, así como para el grado de pendiente del terreno ($F=127.7$, $P\leq 0.0001$), ($F= 9999.9$, $P\leq 0.0001$) y ($F= 345.7$, $P\leq 0.0001$) respectivamente.

Con respecto a los suelos que soportan los géneros y especies característicos del bosque de coníferas presentaron efecto con respecto a los porcentajes de arcilla, limo y arena con una alta probabilidad (<0.0001) Así mismos la interacción ANP* Especie con respecto a cada una de las fracciones del

suelo, mostró para todos los casos la fuerte relación que existe entre la textura del suelo y las comunidades vegetales que sostienen.

7.3 PROPIEDADES QUÍMICAS

El contenido de N en los suelos es de gran importancia tanto para especies cultivadas como para la vegetación natural, con respecto a este elemento se encontró que los menores contenidos se encontraron en el PNIP-PNZA (1.37 Mg ha⁻¹) y los mayores en la RBEC (4.61 Mg ha⁻¹) en cada una de las zonas se observó que dentro del intervalo altitudinal, el contenido de N-total disminuyó conforme la altitud es mayor. En el ANOVA se encontró efecto significativo para los factores ANP (F= 337.6, P≤ 0.0001), Pendiente del terreno (F= 119.6, P≤ 0.0001) y Exposición (F= 61.36, P≤ 0.0001), Para este elemento, Fassberder (1987) indica que la topografía afecta directamente los contenidos de N a través del clima, escorrentías, evaporación y transpiración. Así mismo la MOS sigue la misma tendencia que el N-total, ya que se encontró que los mayores contenidos están en la RBEC con 241.6 Mg ha⁻¹ en el intervalo altitudinal 1900-2001, el menor contenido se encontró en los PNIP-PNZA a una altitud que va 2500-2700 con un valor de 23.6 Mg ha⁻¹ (Cuadro 6) presentando efecto significativo con respecto a las ANP (F=366.3, P≤ 0.0001) (Figura 20). Se considera que la altitud es un factor que influye sobre la temperatura y ésta sobre el tipo de vegetación presente, Así mismo en los microorganismos que intervienen en la degradación de la materia orgánica, deben influir en una lenta descomposición de MOS.

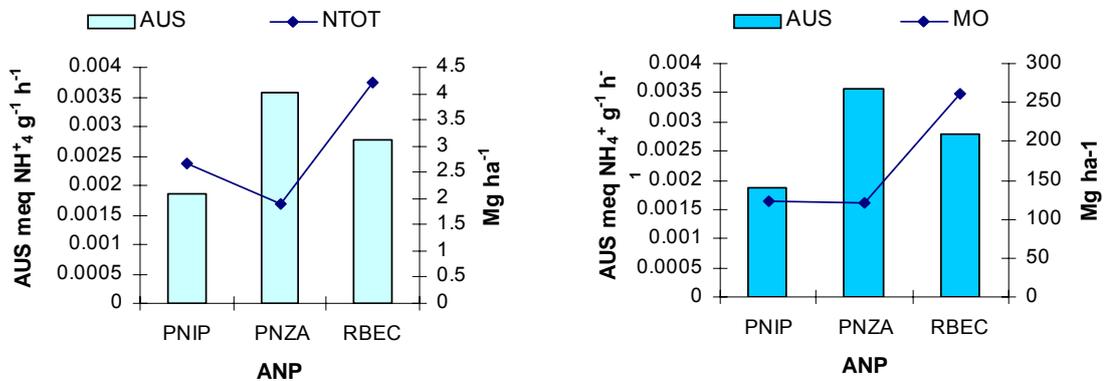


Figura 20. Actividad Ureasa del Suelo y la relación con el N-Total y la MO.

El N para las plantas superiores queda disponible cuando la relación C:N se aproxima a 10:1 dicha relación se utiliza como una medida del grado de humificación. El valor promedio de dicha relación para las tres zonas de estudios fue de 38:1, con un máximo de 69:1 y mínimo de 8:1. En la RBEC se encontró una alta razón C:N (46:1), lo cual trae como consecuencia una baja disponibilidad momentánea de N-Total, de igual manera en el PNIP-PNZA la relación es alta pero menor proporción que en la RBEC, encontrando efecto estadístico significativo de el ANP ($F= 6.63$, $P \leq 0.0001$). Pritchett (1986) menciona que dicha relación disminuye con el tiempo y que esto se debe a la pérdida de C en forma gaseosa en tanto que el N permanece inmovilizado en los compuestos orgánicos y que la tasa de mineralización en suelos ácidos son sumamente bajas en bosques no perturbados por que sus requerimientos son a largo plazo y de cierta forma esto se ve reflejado en nuestros resultados, si se toma en cuenta las características e historia de cada una de las zonas de estudio. Fitzpatrick (1985) indica que la razón C/N por lo general disminuye con la profundidad y que tiende a aumentar con el incremento de la acidez del suelo (Cuadro 6).

7.4 PROPIEDADES BIOQUÍMICAS

Las existencias de carbono orgánico en los suelos naturales representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). El contenido promedio de CBM de en la RBEC fue de (0.0343 Mg ha⁻¹) y de CO₂ (293.5 kg ha⁻¹ día⁻¹) lo cual refleja la alta actividad microbiana en la degradación de los residuos orgánicos, donde la demanda y uso de carbono es constante. Para el PNIP-PNZA el promedio de CBM fue (28.43 Mg ha⁻¹) y de CO₂ en (198.8 kg ha⁻¹ día⁻¹) a diferencia de la RBEC, el proceso de la dinámica de carbono debe ser menos acelerado, lo que indican una menor actividad microbiana y en consecuencia un mayor contenido de carbono en el suelo (Cuadro 6). Del ANOVA se encontraron diferencias significativas para CBM respecto al ANP (F=109.9, P≤ 0.0001), Pendiente (F= 5.45, P≤ 0.0001) y Exposición del terreno (F= 6.77, P≤ 0.0001), mientras que para el CO₂ se presentaron diferencias estadísticas respecto al ANP (F=9.53, P≤ 0.0002), Pendiente (F= 11.95, P≤ 0.0001) y Exposición (F= 12.54, P≤ 0.0001).

La AUS se encontró entre 0.0027 y 0.0034 meq NH₄⁺ g⁻¹ h⁻¹ en la RBEC y en el PNIP- PNZA 0.0010 y 0.0032 meq NH₄⁺ g⁻¹ h⁻¹ (Cuadro 6), Para esta variable se encontraron diferencias significativa con respecto a los factores ANP (F=49.39, P≤0.0001), Pendiente (F= 9.23, P≤ 0.0001) y Exposición (F= 5.87, P≤ 0.0001)

Cuadro 6. Propiedades químicas y bioquímicas del suelo en las ANP.

Altitud m	Propiedades Químicas				Propiedades Bioquímicas		
	N-Total	COS	MOS	C:N	CBM	CO ₂	AUS
	Mg ha ⁻¹				Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ día ⁻¹	meq NH ₄ ⁺ g ⁻¹ h ⁻¹
Reserva de la Biosfera El Cielo							
1300-1500	-	14.59	25.2	-	-	-	-
1501-1700	3.59	171.83	296.3	48.53	0.0304	287.3	0.0034
1701-1900	3.59	131.84	227.3	54.85	0.0345	249.6	0.0034
1901-2100	4.61	140.13	241.6	34.93	0.0381	343.8	0.0027
Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl y Zoquiapan y Anexas							
2501-2700	1.94	13.67	23.6	8.09	-	-	0.0010
2701-2900	1.76	60.13	103.7	33.18	32.78	113.3	0.0029
2901-3100	1.37	56.66	97.7	69.32	31.87	110	0.0032
3101-3300	1.42	34.03	58.7	22.29	31.07	235	0.0016
3301-3500	3.68	91.74	158.2	35.84	30.05	212.5	0.0026
3501-3700	2.59	76.05	131.1	34.35	11.02	367	0.0023
3701-3900	2.63	87.53	150.9	39.34	27.83	155	0.0019

COS- Carbono orgánico del suelo, MOS- Materia orgánica del suelo, CBM- Carbono en biomasa microbiana, CO₂ Dióxido de carbono, AUS- Actividad ureasa del suelo.

Con base en los resultados obtenidos la mayor actividad de la ureasa del suelo se encontró en el PNZA con un valor promedio de 0.0035 meq NH₄⁺ g⁻¹ h⁻¹, seguida de la RBEC en donde la actividad fue de 0.0027 y por último el PNIP presentó la menor actividad con 0.0018 meq NH₄⁺ g⁻¹ h⁻¹ (Figura 21).

La importancia de estas diferencias observadas radica en la naturaleza de los suelos e historia de cada una de las zonas de estudio, tomado en consideración que cada ANP presenta características particulares para sus bosques, Sin embargo, de ahí la importancia de conocer la AU en cada una de ellas, tratando de explicar los diferentes aspectos que pueden influir sobre su actividad.

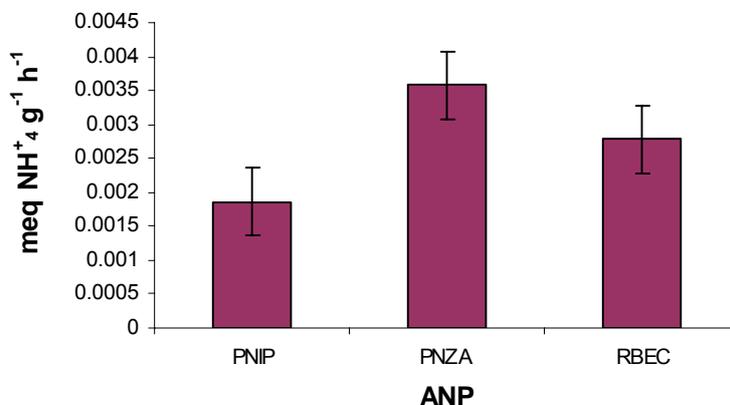


Figura 21. Actividad ureasa del suelo para las tres zonas de estudio

7.5 ACTIVIDAD UREASA DEL SUELO EN CADA UNA DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

7.5.1 Reserva de la Biosfera El Cielo

De los 15 sitios estudiados en el gradiente altitudinal de 1316 a 2054 m el promedio de la AUS fue de 0.0027 meq NH₄⁺ g⁻¹ h⁻¹ presentándose los menores valores en el intervalo altitudinal 1900 a 2100 (0.0026 meq NH₄⁺ g⁻¹ h⁻¹) mientras que los mayores valores se encontraron en altitudes 1300 a 1900 (0.0034 meq NH₄⁺ g⁻¹ h⁻¹). En el análisis de correlación se encontró que la AUS presentó correlación positiva con la Exposición ($r=0.86$ $p\leq 0.05$), pH_{acuoso} y pH_{KCl} ($r=0.97$ y 0.44 respectivamente; $p\leq 0.05$), MOS ($r=0.76$ $p\leq 0.05$) y N-mantillo ($r=0.82$ $p\leq 0.05$).

En la Figura 22 se observa mayor actividad enzimática en los suelos conforme aumenta el pH_{activo} y se acerca a la neutralidad. Tal como lo señalan Swensen y Bakken (1998) citado por Mogollón *et al.*, 1997, quienes indicaron que la disminución del pH en el suelo generalmente se asocia a una disminución en las bacterias que participan en el proceso de amonificación, responsables en gran

parte de la segregación de la enzima ureasa, por lo que valores bajos de pH podrían limitar la actividad biológica de los microorganismos, mientras que pH mayores de 6 estuvieron asociados con una mayor actividad enzimática.

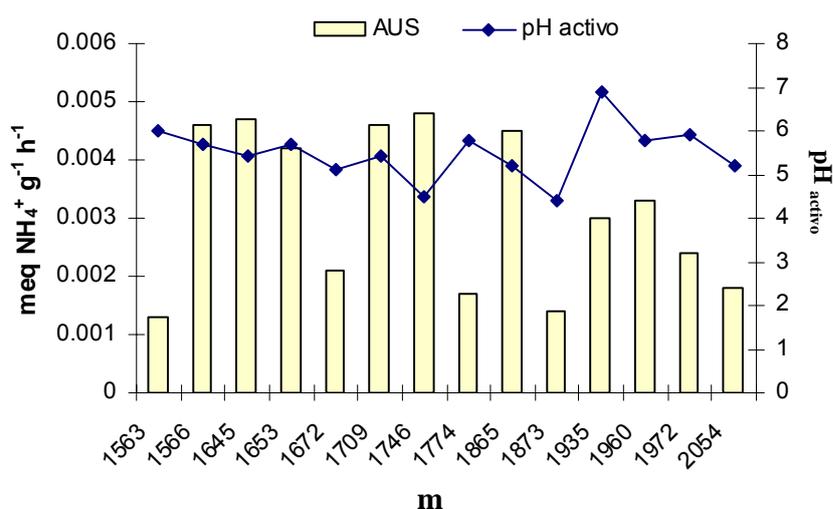


Figura 22. Relación entre la AUS y el pH activo de la RBEC en el gradiente altitudinal.

Las variaciones observadas en la AUS están directamente relacionadas con los niveles de MOS (Figura 23). La alta correlación que existe entre la actividad ureasa y el contenido de CBM ($r=0.99$ $p \leq 0.05$) y esta a su vez con la MOS ($r=0.90$ $p \leq 0.05$) se basa fundamentalmente en que esta enzima se encuentra inmovilizada en la MOS, es decir, adsorbida a las fracciones húmicas formando complejos orgánicos (Tabatabai, 1994) por lo que su actividad depende tanto de los contenidos de MOS y la actividad de los microorganismos. Peña *et al.*, (2004) menciona en su estudio sobre indicadores bioquímicos que la biomasa microbiana, la respiración microbiana y la actividad enzimática implicadas en los ciclos del C, N y P son indicadores de la actividad metabólica de los microorganismos del suelo, por lo que son dependientes de múltiples factores como temperatura, pH, presencia o ausencia de inhibidores o metales pesados,

por ello la AU recibe una influencia directa tanto de la MOS como del carbono contenido en ella.

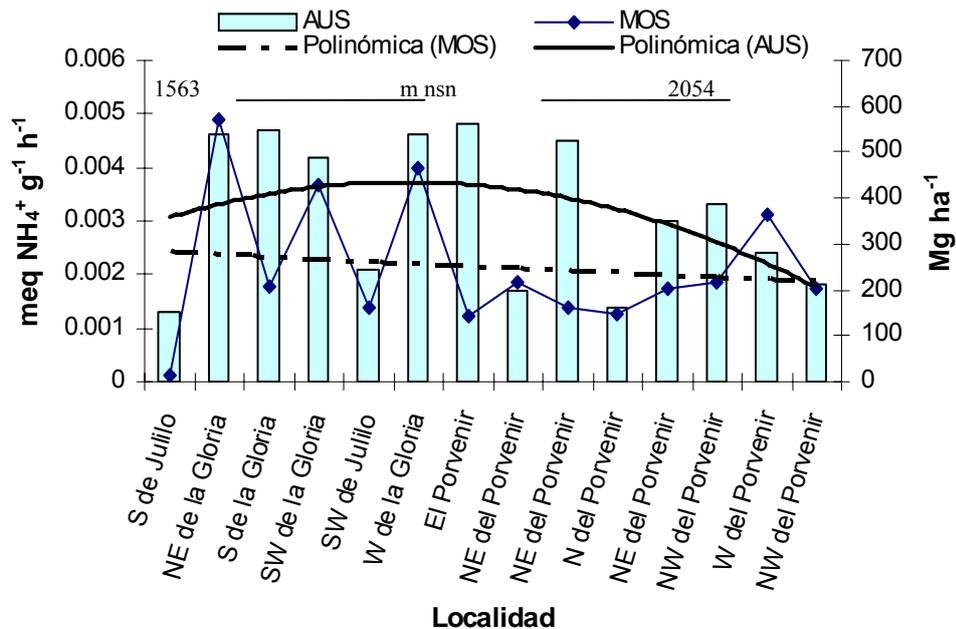


Figura 23. AUS en relación con el contenido de MO en las localidades de la RBEC.

En la Figura 23 se muestra el comportamiento de la AUS asociada con los contenidos de MO en cada una de las localidades dentro de la RBEC, demostrando la alta correlación que existe entre ellas en donde la altitud juega un papel importante, mostrando que a mayor altitud los contenidos de MO y la AU disminuye, esto coincide con lo reportado por Zautua *et al.*, (1977) que mencionan que la actividad ureasa, implicada en el ciclo del N del suelo, sigue la misma pauta que la MO, esto debido a que exista menos materia nitrogenada o que la ureasa este menos asociada a los complejos materia orgánica-arcilla, disminuyendo así su actividad.

El N-Total y la AUS no mostraron correlación, probablemente por la poca variación de los contenidos de N a lo largo del gradiente altitudinal estudiado (Figura 24).

Así mismo los parámetros Altitud, la relación C:N y el porcentaje de Arena presentaron una correlación negativa respecto a la AUS ($r = -0.77$, -0.25 y -0.47 respectivamente; $p \leq 0.05$).

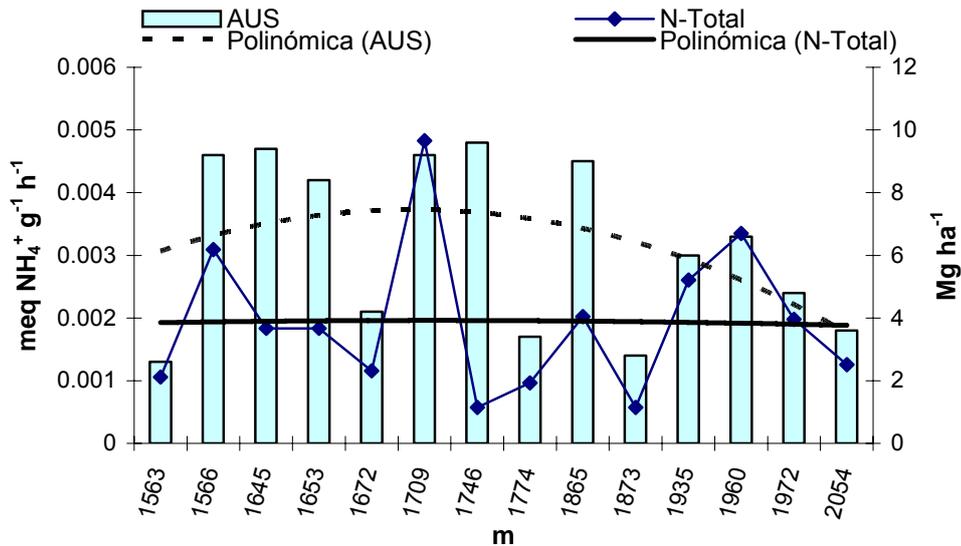


Figura 24. AUS y el contenido de N(- Total a lo largo del gradiente altitudinal en la RBEC.

Para el N-Total del suelo se encontró relación con respecto al género ($r = 0.23$ $p \leq 0.05$) y especie ($r = 0.32$ $p \leq 0.05$), de manera que en suelos bajo *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus* se tuvieron los menores contenidos de N-Total (1.15 Mg ha^{-1}) mientras que en comunidades de *Quercus crassifolia* en asociación con *Pinus sp.* y *Quercus sp.* se encontraron los contenidos mas altos de este elemento (9.66 Mg ha^{-1}), el N también se correlacionó con los contenidos de MOS, CO₂ ($r = 0.70$ y 0.37 respectivamente; $p \leq 0.05$) La mayor AUS se localizó a los 1746 m en Leptosol y Rendzinas que sostienen a la comunidad arbórea con *P. patula* y *A. vejarii*, la menor AUS se encontró en comunidades de *P. patula* a 1563 m en donde se localizó un mosaico edáfico en donde se encuentra Luvisol-Leptosol-Rendzinas (Figura 25) demostrando la estrecha relación que existe en cuanto a la dinámica sobre la disponibilidad de nutrimentos para la planta, donde la actividad enzimática involucrada en el metabolismo de la asimilación de nitrógeno influye en

absorción de NO_3^- y NH_4^+ y la habilidad de la planta para transportar al N a los sitios de demanda (Cruz *et al.*, 2005).

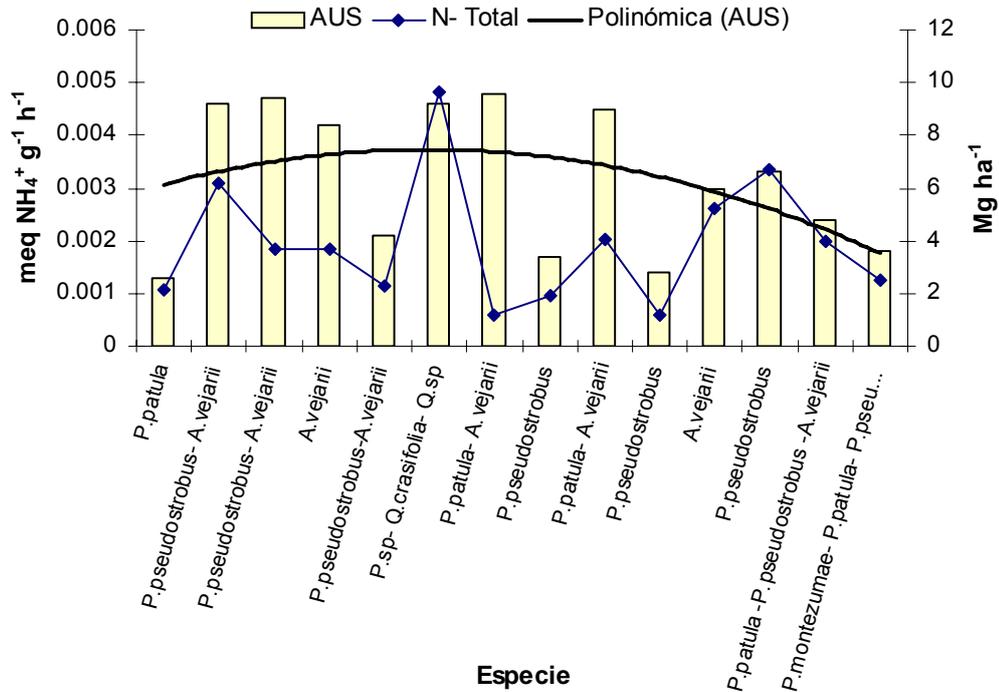


Figura 25. AUS y la relación que existe con las especies en la RBEC en el gradiente altitudinal.

Los valores de AUS se correlacionaron positivamente con respecto D.A y D.R ambas ($r=0.98$ $p\leq 0.05$), así como el porcentaje de limo ($r=0.99$ $p\leq 0.05$) y arena ($r= -0.47$ $p\leq 0.05$) lo cual denota la alta influencia que recibe la actividad enzimática por parte de la partículas del suelo. Por su parte la MOS también presenta correlación con la D.A y D.R ($r=0.71$ y 0.70 $p\leq 0.05$) respectivamente así como con los porcentajes de limo y arcilla ($r= 0.89$ y -0.34 $p\leq 0.05$) lo que muestra que estas propiedades físicas tienen estrecha relación con respecto a la AUS ya que tanto la densidad como el porcentaje de las partículas del suelo influyen en dicha actividad.

7.5.2 Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl

Dentro de este parque se estudiaron 20 sitios correspondientes a unidades ecológicas con cobertura de *Pinus* y *Abies* entre los 2650 y 3982 m, en donde la menor AUS (0.0009 meq NH₄⁺ g⁻¹ h⁻¹) se encontró a los 2650 m en la localidad W-D14 bajo *P. pseudostrobus* desarrollados en suelos que presentaron un pH_{potencial} de 4.9 con una correlación de (r= 0.38 p≤ 0.05) sitio que en el estudio de Granados (2003), presenta el valor de calidad de suelo más bajo. La mayor AUS fue de (0.0036 meq NH₄⁺ g⁻¹ h⁻¹) con un pH_{potencial} de 4.4 presentándose a los 3301 m en el sitio Valle en donde coexisten las especies *P. teocote* y *A. religiosa* (Figura 26).

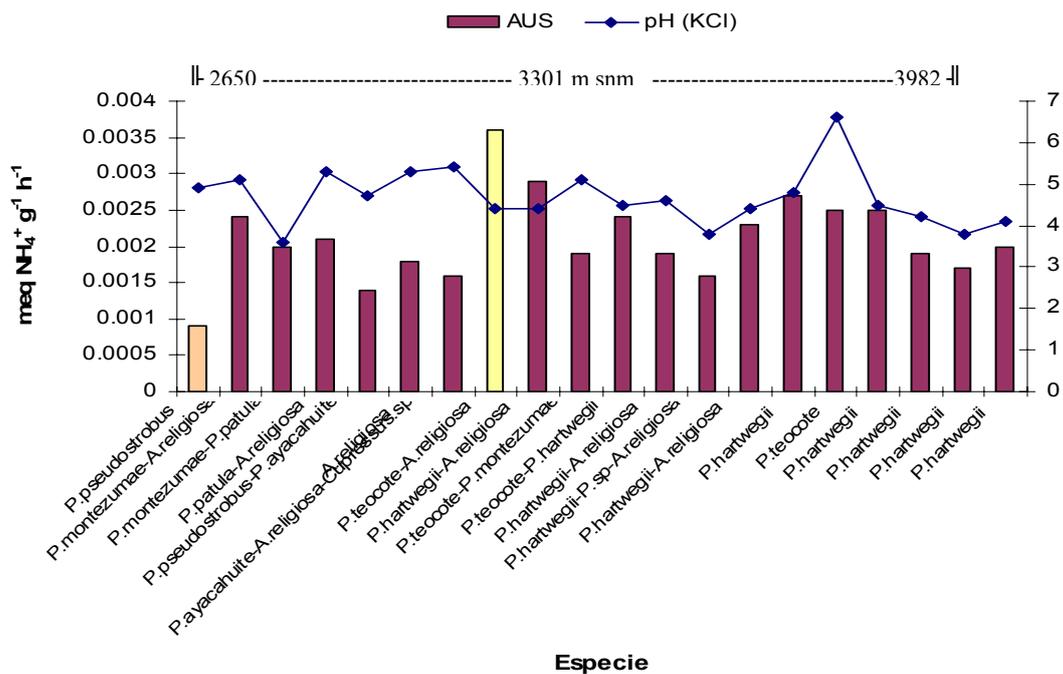


Figura 26. Relación de la AUS, pH y las especies en cada sitio de estudio en el PNIP

En la zona del PNIP a lo largo del gradiente altitudinal, se observó que en el sitio Valle y El Americano, la AUS fue mayor y correspondiendo a comunidades

con asociación de de *Pinus-Abies* y donde el N-Total fue de (1.66 y 1.94 Mg ha⁻¹ respectivamente) presentando una correlación positiva ($r= 0.83$ $p\leq 0.05$). Con respecto a la MOS el contenido mayor fue de (209.3 Mg ha⁻¹) correspondiendo al mismo sitio en donde se encontró la mayor AUS, con respecto a el CBM la AUS se correlaciono de manera negativa ($r= -0.30$ $p\leq 0.05$). En el Cuadro 7, se puede observar que no existe diferencia en la AUS por efecto de la altitud, sin embargo, si puede existir un efecto de la asociación cobertura vegetación, pues en suelos bajo cobertura solo de *Pinus* los valores promedio de AU fueron de (0.0019 meq NH₄⁺ g⁻¹ h⁻¹), mientras que en suelos bajo cobertura de la asociación *Abies-Pinus* la AU (0.0024 meq NH₄⁺ g⁻¹ h⁻¹) tuvo un rango de hasta 5 unidades mas alta por encima del promedio en suelos con solo cobertura de *Pinus*.

Cuadro 7. Relación de la Actividad Ureasa del Suelo (AUS) con respecto al contenido de Nitrógeno total (N-Total), Materia Orgánica (MO), Carbono en Biomasa Microbiana (CBM) en cada uno de los sitios de muestreo en el PNIP.

Sitio	Altitud	Comunidad	AUS	N-Total	MOS	CBM
	m		meq NH ₄ ⁺ g ⁻¹ h ⁻¹	-----Mg ha ⁻¹ -----		
W-D14	2650	<i>Pinus</i>	0.0009	1.94	23.6	.
Barranca apapaxo	2834	<i>Pinus-Abies</i>	0.0024	2.49	167.4	29.18
La Papa acatzi	2964	<i>Pinus</i>	0.002	1.94	9.7	34.58
S de el salto	3099	<i>Pinus-Abies</i>	0.0021	0.55	91.6	31.875
La ventana	3127	<i>Pinus</i>	0.0014	0.83	18.7	24.855
O16	3225	<i>Pinus</i>	0.0018	1.38	29.5	.
SE barranca tlalquecotchcotl	3281	<i>Pinus-Abies-Cupressus. sp</i>	0.0016	1.1	47.4	37.285
Valle	3301	<i>Pinus-Abies</i>	0.0036	1.66	209.3	.
El Americano	3312	<i>Pinus-Abies</i>	0.0029	1.94	164.3	37.285
Agua escondida	3333	<i>Pinus</i>	0.0019	5.68	147.1	17.02
La venta	3418	<i>Pinus</i>	0.0024	4.64	112.3	28.64
S Barranca Tlalquecotchcotl	3425	<i>Pinus-Abies</i>	0.0019	4.98	157.9	37.285
Tlalcomajada E de Tetterre	3512	<i>Pinus-Abies</i>	0.0016	2.21	135.9	21.07
SE Barranca Tlalquecotchcotl	3540	<i>Pinus-Abies</i>	0.0023	3.65	199	4.32
F1	3553	<i>Pinus</i>	0.0027	1.66	35.4	.
Pela Gallina	3615	<i>Pinus</i>	0.0025	3.74	101.6	4.32
S Barranca Tlalquecotchcotl	3667	<i>Pinus</i>	0.0025	3.88	167.4	21.07
Chalchoapa N de Tetterre	3696	<i>Pinus</i>	0.0019	0.97	97.1	4.32
La Laguna Xahuehahuatualco	3828	<i>Pinus</i>	0.0017	2.77	145.6	27.83
La Joya	3892	<i>Pinus</i>	0.002	2.5	156.2	.

7.5.3 Parque Nacional Zoquiapan y Anexas

De los 10 sitios de muestreo dentro del PNZA la mayor AUS fue (0.0052 meq $\text{NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$) en el sitio San Miguel Tlaixpan en donde el género predominante es *Quercus*, la menor AUS se encontró en el sitio S de la barranca del paso del muerto (0.0042 meq $\text{NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$) a la altitud de 3036 m en donde coexisten las especies *A. religiosa* y *P. sp.* En la Figura 27 se muestra la tendencia del contenido de nitrógeno en el suelo bajo las especies estudiadas dentro de la zona que corresponde al parque, se puede observar que el N-Total es mayor en suelos bajo *A. religiosa*-*Cupressus sp.* y menor en *P. sp.*-*A. religiosa* y a menudo que asciende el grado altitudinal, los contenidos de este elemento disminuyen, de igual manera que para la AUS a medida que el grado altitudinal es mayor.

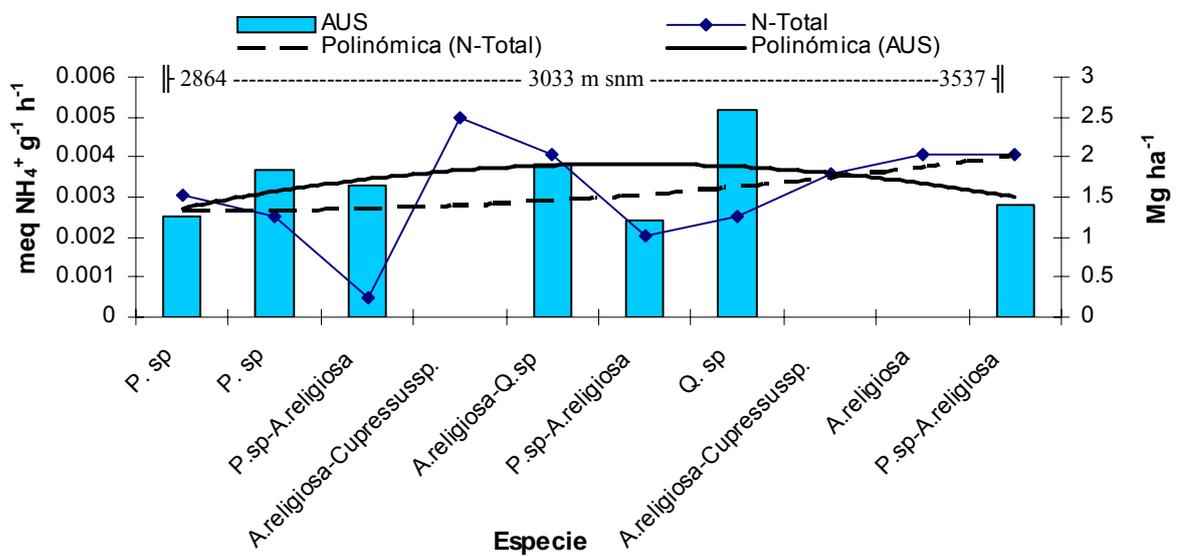


Figura 27. Relación de la AUS respecto al contenido de N-total en los suelos bajo las especies estudiados en el PNZA.

En el Cuadro 8 se muestra con detalle los valores obtenidos para los diferentes parámetros en cada uno de los sitios estudiados dentro de la zona que corresponde al PNZA. El contenido de MOS se encontró entre 62.3 y 181.6 Mg ha⁻¹, presentando el mayor contenido (181.6 Mg ha⁻¹) en la localidad de Puerto Mancilla en la cual coexisten comunidades vegetales de las especies de *P. sp* y *A. religiosa* la cual correspondió a uno de los sitios de menor AUS y pH más ácidos, lo cual ayuda a precisar cambios en el suelo y la vegetación la cual puede producir variaciones en la dinámica de nutrimentos a escala espacial.

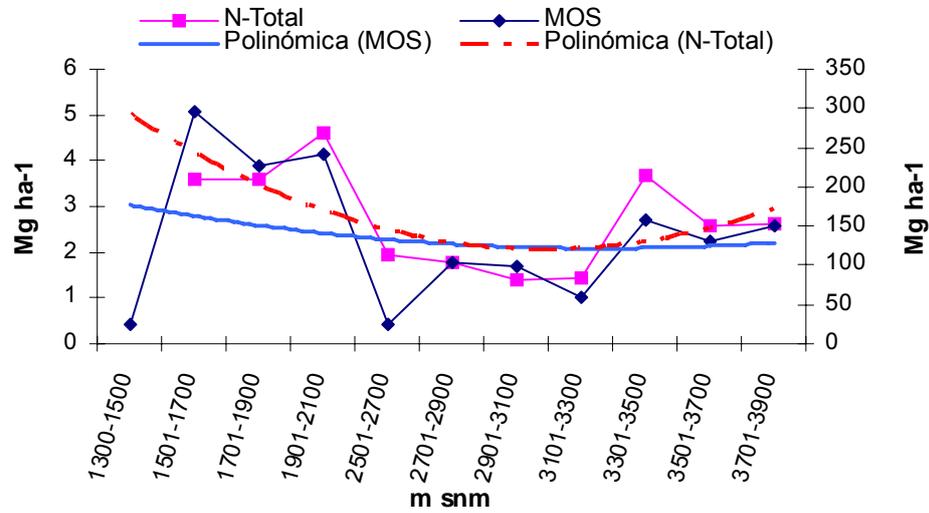
Cuadro 8. Relación de la Actividad Ureasa del Suelo (AUS) con respecto al contenido de Nitrógeno total (N- Total), Materia Orgánica del Suelo (MOS, Carbono en Biomasa Microbiana (CBM) y pH activo en cada de las comunidades de los sitios de muestreo en el PNZA.

Localidad	Altitud m	Especie	MOS	N-Total	CBM	AUS	pH activo
			-----Mg ha ⁻¹ -----			meq NH ₄ ⁺ g ⁻¹ h ⁻¹	
S de los Colgados	2864	<i>P. sp</i>	62.3	1.52	34.58	0.0025	5.2
NW de Texola	2876	<i>P. sp</i>	81.3	1.27	34.58	0.0037	5.7
S de la Vaqueria	2950	<i>P.sp-A.religiosa</i> <i>A.religiosa-</i>	92.1	0.25	34.58	0.0033	4.9
D11 Cañada La Coquia	2965	<i>Cupressussp.</i>	173.4	2.5	-	-	5.7
Cañada Atlapulco	3003	<i>A.religiosa- Q.sp</i>	108.4	2.03	-	0.0038	5.7
S de la Barranca del Paso del Muerto	3036	<i>P.sp-A.religiosa</i>	73.2	1.01	26.475	0.0024	5.5
Sn Miguel Tlaxpan	3066	<i>Q. sp</i> <i>A.religiosa-</i>	135.5	1.27	-	0.0052	5.9
Pto. 8	3231	<i>Cupressussp.</i>	70.5	1.78	-	-	5.5
O1 Sn.Pedro	3286	<i>A.religiosa</i>	127.4	2.03	-	-	5.5
Puerto Mancilla	3537	<i>P.sp-A.religiosa</i>	181.6	2.03	-	0.0028	5.5
Promedio			110.57	1.56	32.55	0.0031 ± 0.004	5.5

7.6 ACTIVIDAD UREASA DEL SUELO EN LAS ANP

Dentro de la toposecuencia en las tres zonas de estudiadas se encontró que tanto los contenidos de MOS y de N-Total fueron de los parámetros más relacionados con la altitud. Los resultados mostraron que a mayor altitud, el

contenido de MOS y de N-Total disminuye (Figura 28), estos resultados pueden ser explicados, sí se considera que la altitud es un factor que influye sobre la temperatura y está a su vez al tipo de vegetación presentes en cada ANP. Campos (2003) menciona que la actividad biológica disminuye conforme aumenta la altitud. También la geoquímica puede reflejar cambios relacionados con la altitud en secuencias topográficas. Agbenin y Tiessen (1994) y Campos *et al* (2001 a) reportaron que en suelos de bosques tropicales secos la mineralogía varía a lo largo de la pendiente, lo cual podría generar cambios en los aportes y disponibilidad de nutrimentos cuando aumenta la altitud. En particular, el suelo de los sitios más elevados sufre un rejuvenecimiento y arrastre de materiales (Wright, 1992), permitiendo suponer que variaciones en la disponibilidad de nutrimentos a lo largo de un gradiente topográfico podría reflejar el patrón de uso y control de los nutrimentos por parte de la vegetación de acuerdo con la pendiente. Pastor y Tremon (2003) en su estudio sobre el efecto del cambio de uso del suelo sobre la actividad ureasa, encontraron que la mayor actividad se localiza en la capa superficial del suelo, notando una disminución drástica en lotes recién deforestados. Por otro parte Albanesi y Sánchez (2001) indica que la ureasa esta presente en todos los horizontes del suelo y que disminuye por el cambio de uso, dependiendo de la posición topográfica. En lo anterior radica la importancia de conservar los ecosistemas naturales. Así mismo Pastor y Tremon (2003) encontraron que dicha actividad siguió la misma tendencia que los cambios en la concentración de carbono orgánico, observando una alta correlación entre estas variables ($r=0.94$), lo cual coincide con los resultados obtenidos en esta investigación, con base fundamentalmente en que esta enzima se encuentra inmovilizada en la MOS, es decir, absorbida en las fracciones húmicas formando complejos orgánicos.



Figura

ra

28. Relación del gradiente topográfico con los contenidos de N-Total y MOS en las ANP.

La ANP que presentó la mayor AUS fue el PNZA, seguida de la RBEC y la menor actividad se presentó en el PNIP. Así mismo se muestra en el Cuadro 9 que la RBEC fue la ANP en la que se encontró los mayores contenidos de MOS, N-Total y CO₂ lo que denota la alta actividad de los microorganismos sobre la degradación de la MOS, donde la AU puede estar participando en la disponibilidad de nitrógeno en forma de NH₄⁺, tomando en cuenta el estado orgánico del suelo y considerando a esta área como un bosque joven en donde la dinámica de los nutrientes tiende a ser más acelerada, por lo que se puede inferir dicho comportamiento. En el PNZA se tuvo la mayor actividad, mientras que los contenidos de MOS y N-Total son los menores en las tres ANP, lo cual corrobora lo planteado en la hipótesis solo para esta ANP.

Cuadro 9. Contenido de nutrientes y actividad bioquímica en las tres ANP

	PNIP	PNZA	RBEC
AUS	0.0018 ± 0.002	0.0035 ± 0.002	0.0027 ± 0.004
MOS	122.3	121.2	260.5
N-Total	2.67	1.88	4.21
CO ₂	273.43	251.44	308.73

Si se consideran las diferencias que existen entre cada una de las ANP en cuanto a situación geográfica y origen parental del suelo, se puede decir que dichas diferencias radican en que cada una de las ANP presenta características muy particulares de temperatura, precipitación, topografía y altitud las cuales se reflejan en los resultados obtenidos.

A su vez los microorganismos del suelo son de los indicadores de calidad edáfica más sensibles y pueden potencialmente, ser indicadores de suelos perturbados o contaminados, aunque en esta investigación no se realizó el análisis de la composición microbiana se puede inferir su actividad mediante los datos de CBM y CO₂. Granados (2003) menciona que puede existir variaciones espaciales en cuanto a la diversidad de estos organismos debido a las condiciones ambientales como temperatura, precipitación, pH y profundidad del suelo. Así que debido a esto la actividad microbiana se ve influida por las mismas condiciones ambientales del suelo y por los factores ambientales que operan sobre el desarrollo de las plantas. Referente a esto Albaneis (2001) señala que la AU, expresada como un porcentaje de la actividad total asociada al nitrógeno de la biomasa microbiana, presenta variaciones para los horizontes superficiales y subsuperficiales, por lo que se infiere que la ureasa no es el resultado de la mayor producción de enzima por la biomasa microbiana y renueva el interrogante de distinguir entre la actividad extracelular, establecida por los complejos órgano-arcillosos de aquella asociada a organismos de vida libre.

Con referencia al pH encontrado para cada una de las ANP, se encontró que para el PNZA se tuvo el mayor pH_{activo} proporcionando una menor acidez lo cual ayuda a que el ambiente del suelo se vea favorecido por la AU (Figura 29), sí tomamos en cuenta que fue en esta ANP donde se encontró la mayor AU en suelos bajo el género *Quercus* (Figura 30), se puede pensar que tanto el material depositado en el suelo proveniente de las hojas latifoliadas de este árbol las

cuales son más sensibles a la degradación microbiana que las hojas del género *Pinus* las cuales presentan mayor resistencia a la degradación por el contenido de resinas y ligninas.

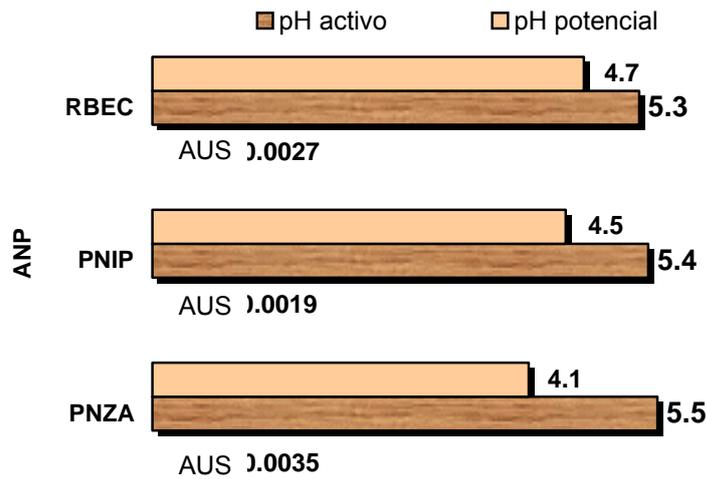


Figura 29. AUS en relación con el pH potencial y activo en las tres zonas ANP.

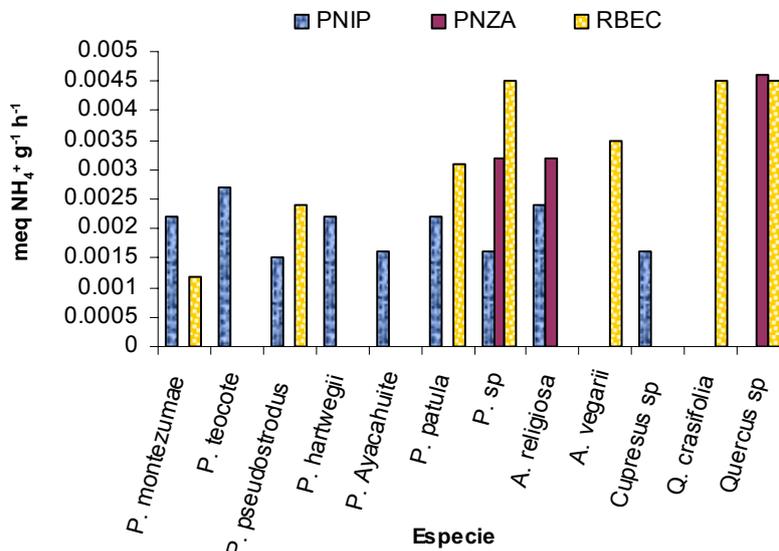


Figura 30. AUS con relación a la especies en las tres ANP.

Para las tres ANP se encontró que la textura como el espacio poroso del suelo es parte importante en la AU, en la Figura 31 se muestra de manera gráfica

el porcentaje de cada una de las fracciones que presentan los suelos. En los tres casos la tendencia es la misma, el porcentaje de arena fue el que predomina, seguido del limo y la arcilla, cabe hacer notar que tanto en la RBEC como para el PNZA el contenido de arcillas es mayor que en el PNIP lo cual podría explicar las mayores AU recordando que dichas partículas presentan cargas negativas y que el NH_4^+ producto del N-orgánico puede estar adherido a ellas y servir como reservorio para las plantas.

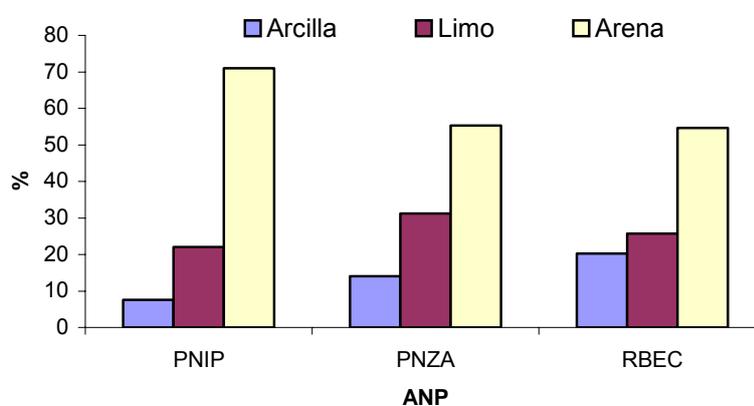


Figura 31. Porcentajes de las partículas de suelo en las ANP.

7.7 IMPORTANCIA DE LA CONTRIBUCIÓN DE LA AU EN LA LIBERACIÓN DE NH_4^+ DEL N-orgánico.

La gran utilidad que tiene conocer la AUS, es que mediante ésta, se puede llegar a obtener la cantidad de NH_4^+ disponible para las plantas en el primer y segundo año, lo cual representa un aporte al conocimiento sobre la disponibilidad y ciclo de nutrimentos. Si la AU libera NH_4^+ , con la suposición de que los suelos tengan una densidad aparente de 0.9 g cm^3 a una profundidad de 0.1 m, se tiene el cálculo de los $\text{kg NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ liberado para cada una de la ANP por lo que se puede afirmar que es posible utilizar a la AUS como un indicador de la calidad edáfica en bosques templados (Cuadro 10).

Cuadro 10. Cantidad de NH_4^+ liberado por la AU en cada una de las tres ANP

PNIP	PNZA	RBEC
----- Kg NH_4^+ ha ⁻¹ día ⁻¹ -----		
204	329	308

7.8 RELACIÓN ENTRE AU NITRÓGENO EN SUELO, MANTILLO Y TEJIDO FOLIAR

7.8.1 Reserva de la Biosfera El Cielo

Para esta zona de estudio se encontró el mayor contenido de N-suelo y Foliar (Cuadro 11) mientras que la AU fue de $(0.0027 \pm 0.004 \text{ meq NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1})$, esta actividad presentó correlación estadísticamente significativa con N-mantillo ($r= 0.82 \text{ p} \leq 0.0001$), lo que indica que es la fracción orgánica más inmediata que está sujeta a la degradación por la ureasa. El N-suelo no presentó una correlación con la AU probablemente debido al alto grado de descomposición que la MOS presenta por lo que habrá de atribuir a la actividad microbiana un papel en la degradación de compuestos nitrogenados incorporados a la MOS. En referencia a la correlación negativa encontrada entre N- Suelo con N-foliar ($r=-0.035 \text{ p} \leq 0.0076$) habrá de atribuirse al tipo de estrategia de adaptación que presentan las especies de lento crecimiento (Estrategia I) debido a que presentan una baja tasa de absorción de nutrimentos (Grime, 1982 citado en Cruz, 2003) o a la oportunidad en la toma de muestras foliares.

7.8.2 Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl

Después de la RBEC los contenidos de N-suelo y N-foliar fueron mayores (Cuadro 11) pero La AU $(0.0018 \pm 0.002 \text{ meq NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1})$ presentó correlación significativa con las tres formas de N evaluadas; N-suelo ($r= 0.83 \text{ p} \leq 0.0001$), N-foliar ($r=0.56$

$p \leq 0.0001$) y N- mantillo ($r=0.86$ $p \leq 0.0001$). Como se puede ver la AU tiene una importante participación en la degradación de compuestos nitrogenados de la materia fresca (mantillo) y también de la incorporada al suelo (MOS) en el PNIP.

De la misma manera que en la RBEC, la concentración de N-foliar, no se correlacionó con el N-suelo por el comportamiento descrito de las especies de estrategia I de adaptación a suelos con baja disponibilidad nutrimental (Grime, 1982 citado en Cruz, 2003).

7.5.3 Parque Nacional Zoquiapan y Anexas

En el PNZA se encontraron los menores contenidos en las tres formas de N evaluadas (Cuadro 11) presentando correlación entre la AU y el N-foliar ($r=-0.41$, $p \leq 0.0234$). El N-suelo con el N-foliar, en este parque si tuvo correlación significativa ($r=0.38$ $p \leq 0.0170$), lo que a diferencia de las otras áreas naturales protegidas indica que el N- suelo y el foliar sí tuvieron relación por la etapa en que fueron tomadas las muestras.

Cuadro 11. Contenido de N-suelo, N-foliar y N-mantillo en las ANP

ANP	N-Suelo	N-Foliar	N-Mantillo
	-----Mg ha ⁻¹ -----		
RBEC	4.21	1.33	0.411
PNIP	2.67	0.85	0.486
PNZA	1.88	0.72	0.297

Finalmente los resultados que se encontraron mediante este trabajo, aportan una descripción de manera general del comportamiento de la AU y como está puede ser sensible a los diferentes cambios tanto de topografía y vegetación,

así mismo los factores climáticos que reciben cada uno de los ecosistema a causa de la posición geográfica son claves para identificar el comportamiento particular de cada bosque, sin embargo iniciar con una descripción de las posibles variaciones que pueda influir en la AU es un avance en el estudio de la calidad de suelos forestales y en los indicadores útiles que nos ayuden a una evaluación integral de los sistemas naturales.

8. CONCLUSIONES

Se encontró que la AUS sí presenta relaciones con los contenidos de N-Total y MOS, las relaciones que guarda la enzima fueron particulares para cada ANP.

Los contenidos de N-total y MO respecto a la AUS, permiten señalar que la hipótesis planteada puede ser aceptada para el PNZA, mientras que para el PNIP y la RBEC el mecanismo de acción de la actividad ureasa se ve implicada en una dinámica diferente a la planteada en la hipótesis. La AU sí está íntimamente relacionada el pH potencial y activo, dicha actividad disminuyó con la altitud, sin embargo más que la altitud los resultados nos indican que fuera del grado de deterioro de los ecosistemas en algunos sitios de observación, la AU es sensible a cambios en la composición y comportamiento de cada una de las fracciones contenidas en el suelo y de la dinámica nutrimental que se requiere para cada una de las comunidades vegetales.

En suelos bajo las especies del género *Quercus* se presentaron los mayores valores de AU en comparación del resto de los géneros, confirmando la diferencia en las interacciones suelo-planta en vegetación con hoja latifoliadas y hojas aciculares.

Con los resultados de este trabajo se puede señalar que la AU del suelo es sensible a cambios de tipo de suelo, condiciones topográficas y vegetación presente en el ecosistema, por lo tanto sí puede ser utilizada como un indicador para evaluar la calidad del suelo. Sin embargo, es necesario combinar la AU con valores de otras enzimas o nutrimentos para una evaluación integral.

9. LITERATURA CITADA

- Agbenin J. O., y H. Tiessen. 1994. Phosphorus transformations in a toposequence of Lithosols and Cambisols from semi-arid northeastern Brazil. *Geoderma* 62:345-362.
- Aguilera H.N. 1989. Tratado de Edafología de México. UNAM Facultad de Ciencias. México. pp 106.
- Albanesi A., y A. Sánchez. P. 2001. Efecto de la agricultura convencional en algunas formas del N en una toposecuencia de la Región Chaqueña, Argentina. *Agriscientia* Vol XVIII: 3-11.
- Arbelo C.D, Rodriguez A., Guerra J.A., y Mora J.L.2002 Calidad del suelo y sucesión vegetal en andosoles forestales de las Islas Canaria. *Edafología*, Vol. 9 (1), pp 31-38.
- Bandinck A.K. y R.P. Dick. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry* 31(11): 1471-1479.
- Bremmer, J. M. 1965. Total nitrogen. Pp.1149-1178. In: C.A. Black (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2, Agronomy 9.* American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Birkeland W. P. 1984. *Soils and Geomorphology.* Oxford University Press, 372 p.
- Bockeim J. G. 1991. Suelos forestales, *In: Young R. A (ed.). Noriega Editores. México.* Pp119-139.
- Bundt M., M. Jäggi, P. Blaser, R. Siegwolf y F. Hagedorn, 2001. Carbon and dynamics in preferential flow paths and matrix of a forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:2125-2135.
- Campos A.J 2003. Disponibilidad y flujo de nutrimentos en una toposecuencia con bosque tropical seco en México. *Agrociencia* 37 :211-219.
- Campos J, J. Maass, y L. De Pablo. 2001^a. Intemperismo en un bosque tropical seco de México. *Agrociencia* 35:245-254.
- Casa G. S., y Requena L. G. 2005. Generalidades geográficas. *In Sánchez-Ramos, G; P. Reyes- Castillo and R. Dirzo (eds.) Historia natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas. Impreso en Hog Kong. 732 pp.*

- Carter M. C., T. J. Dean, M. Zhou, M.g. Messina, y Z. Wang. 2002. Short-term changes in soil C, N, and biota following harvesting and regeneration of loblolly pine *Pinus taeda* L. 2002. *Forest Ecol. and management* 164: 67-88.
- Challenger A. 1998. Utilización y Conservación de los Ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. CONABIO, Instituto de Biología de la UNAM, Agrupación Sierra Madre.
- CONABIO, 2005 <http://www.conabio.gob.mx>
- CONANP, 2006 <http://www.conanp.gob.mx>
- Cotler A. H. 2003. Características y manejo de suelos en ecosistemas templados de montaña. *en: Conservación de ecosistemas templados de montaña en México.* Sánchez, O. Vega, E. Peters, E and Monroy, O. (eds) Instituto Nacional de Ecología pp: 153-159.
- Cruz-Flores. G, R.D. Flores, G. Alcála, y Trinidad, S. 2005. Fosfatasa ácida, nitrato reductasa, glutamina sintetasa y eficiencia de uso de fósforo y nitrógeno en cereales. *Terra Latinoamericana* 23:457-468.
- Cruz-Flores. G. 2003. Mecanismos de adaptación de la raíz de cereales ante estrés nutrimental en suelos ácido. Tesis de Doctorado. UNAM
- Cruz F.G. 2006. Ecología del suelo. Un enfoque hacia la nutrición mineral de plantas superiores. UNAM México 106 pp.
- Domínguez, R. L y N. Aguilera H. 1982. Metodología de análisis físicos y químicos de suelos. UNAM, Facultad de Ciencias-Biología.
- Doran J. W. y Parkin, T.B. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set, *in: Methods for assessing soil quality*, J, W. Doran y A.J. Jones (eds), Soil Science Soc. Of Am., Inc., Madison, WI, 25-37.
- Doran J. W. y T. B. Parkin.1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment.* Ed. SSSA y ASA. Madison, Wisconsin. USA.
- Enkerlin H., E. C. 1997. Suelo y agua. Pp 235-246. *In: E. Enkerlin., G. Cano., R. Garza., E. Vogel. (ed). Ciencia ambiental y Desarrollo sostenible.* Internacional THOMSON. México.
- Etchevers J.D, M.A. Bautista y M. A Vegara. 2000. Calidad del suelo, indicadores de calidad y captura de carbono en; la edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.

- Fassbender H, W, y Bornemisza. E.1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura de cooperación para la agricultura. San José Costa Rica.
- Fisher R. F, y Binkley, D. 2000. Ecology and management of forest soils. John Wiley and Sons, Inc. 3 rd Ed., NY, 490 p.
- FitzPatrick E. 1985. Suelos. Su formación, Clasificación y Distribución. Compañía Editorial Continental. México. 430 pp.
- Franzluebber A. J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. Soil and Tillage Res. 66; 95-106.
- Giardina P. C., M. G. Ryan . M. Hubbard y D. Binkley. 2001. Tree species and soil textural controls on carbon and nitrogen mineralization. Soil Sci. Soc. Am. J. 65:1272-1279.
- Granados D. A. R. 2003. Calidad del suelo y estado nutricional del género *Pinus* en la vertiente occidental de Iztaccihuatl y Popocatépetl. Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Hackl E.,G, Bachmann y S. Zechmeister-Boltensten. 2004. Microbial nitrogen turnover in soils under different types of natural forest. Forest Ecology and management. 188: 101-112.
- INEGI.1984. Mapa topográfico 1:50000. E14B41. Amecameca
INEGI.1984. Mapa topográfico 1:50000. E14B42. Huejotzingo
INEGI.1984. Mapa topográfico 1:50000. E14B51. Cuautla
INEGI.1984. Mapa topográfico 1:50000. E14B52. Atlixco
INEGI.1984. Mapa edafológico 1:50000. F14A49. Gómez Farias
INEGI.1984. Mapa topográfico 1:50000. F14A49. Gómez Farias
- Instituto Nacional de Ecología (INE) 2004.
http://www.ine.gob.mx/veagi/publicaciones/libros/459_cap1/htm. Consultado el 13 de marzo 2004.
- Jackson, M. L. 1964. Análisis químico de suelos. Ed Omega. Barcelona. España.
- Jordan W. R. 1993. "Whole plant response to water deficits: an overview". pp 289-317 *in*: H. M. Taylor, W. R. Jordan y T. R. Sinclair (eds) Limitation to efficient water use in crop production. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America Madison, Wisconsin.

- Kelting D., Burger, J.,A, Patterson, W., Aust, M., Miwa, M., y Trettin, C.C. 1999. Soil quality assessment in domesticated forest- a Southern pine example. *Forest Ecology and management* 122:167-185.
- Kern J.S y M. G. Johnson 1993. Conservation tillage impacts on national and atmospheric carbon levels. *Soil Science Society of America Journal* 57: 200-210.
- Knoepp J. D., D. C. Coleman, D. A. Crossley Jr. y J.S. Clark. 2000. Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use. *Forest Ecology and management*.138: 357-368.
- Lal R. 1999. Global carbon pools and fluxes and the impact of agricultural intensification and judicious land use, 45-55 In: *World Soils Resources Report, Prevention of land degradation, enhancement of carbon sequestration and conservation of biodiversity through land change and sustainable land management with a focus on Latin America and the Caribbean. Proceedings of an IFAD/FAO Expert Consultoria, FAO, 113p.*
- Lindenmayer D. B. 1999. Future directions for biodiversity conservation in managed forest: indicators species, impact studies and monitoring programs. *For. Ecol. Manage.* 115: 277-287.
- López-Ritas J. y López-Mélida, 1990. *El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio Ed. Mundi-Prensa. Madrid España.*
- Manson K. F., U y Falkengren-Grerup. 2003. The effect of nitrogen deposition on nitrification, carbon and nitrogen mineralization and litter C, N ratio in oak (*Quercus robur L*) forest. *Forest Ecol. Management* 179: 455-467.
- Masera O., M.Astier, y S. López. 2000. *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMI. Mundi Prensa. México.*
- Mogollón, J. P., Garcia-Miragaya, J., Sánchez , L.F., Chacón, NM., y Araujo, J. 1997. Nitrógeno potencial disponible en suelos bajo diferentes árboles de sombra. *Agrom. Tromp.* 47:87-102.
- Oldeman L. R. 1988. Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation. Working paper 88/4. International Soil Reference and Information Center (ISRIC), Wageningen, 151 p.
- Pastor M.J. y O, Tremon. 2004. Efecto del cambio de uso de la tierra sobre la actividad ureásica en agroecosistemas cafetaleros Estado Falcon. Universidad Nacional Experimental Francisco Miranda. Coro, estado Falcón.

- Peña D.A . 2005. Bioquímica. Ed. Limusa. México 413 pp.
- Peña C. W., Atfaro M. P., y Leirós, P. 2004. Indicadores bioquímicos para la calidad de suelos forestales desarrollados sobre serpentinas en Galicia España. Universidad de Santiago de Compostela, España. Consultado el 14 Junio 05 en <http://www.ceniap.gov>
- Pagiola S. 1999. The global environmental benefits of land degradation control on agricultural land. World Bank Environment Paper n 16, Washington D.C
- Palmer, G. R. y F. R. Truch. 1989. Introducción a la ciencia del suelo. Manual de laboratorio AGT Eds. México.
- Powlson, D.S., P. C. Brookes y B.T. Chistensen. 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.* 19(2):159-164. Great Britain.
- Pritchett W.L. 1991. Suelos forestales, propiedades, conservación y mejoramiento. Limusa, México.
- Rzendowski. J. V. 1978. Vegetación de México. Ed Limusa. México.432 pp.
- Ross, D. J. 1989. Estimation of soil microbial C by a fumigation-extraction procedure: influence of soil moisture content. *Soil Biol. Biochem.* 21(6):767-772.
- Richards, L. A. 1990. Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6ª ed., Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Limusa, México..
- Sall S. N. y J. Chote L. 2002. Phosphatase and urease activities in a tropical sandy soil as affected by soil water-holding capacity assay conditions. *Comm. In soli. Sci and Plnat ann.* 33: 3745-3755.
- Schoenholtz S.H: H. Miegroet van; y J.A. Burger. 2000. A review of chemical and physical propeties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *For. Ecol. Manage.* 138: 335- 356.
- SEMARNAT, 1996. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales <http://www.semarnap.gob.mx>.
- SEMARNAT, 2000. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales SEMARNAT Quincenal. Año 3. No. 62.2 de junio 2000. <http://www.semarnap.gob.mx/quincenal/62/cifras.htm>

- Seybold C.A., M.J. Mausbach, D.L. Karlen y H.H. Roger, 1997. Quantificación of soil quality. pp 387-404 . *In*: Rattan, L., J.M. Kimble, R.F. Follett. B.A. Stewart. (ed.). Soil processes and the carbon cycle. CRC. U.S.A
- Smith J. L., R. Papendick I., D. Bezdicsek F. y J. Linch M. 1993. Soil organic matter dynamics and crop residue management. *In*: Blainc M. F Jr. (ed). Pp 65-94. Soil Microbial Ecology. Applications in agricultural and environmental management. Marcel Dekker. Inc. New York, USA.
- Swift S.R. 2001. sequestration of carbon by soil. *Soil.science*. 166 (11): 258-871.
- USDA. 1999. Guia para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura, servicio de investigación agricultura, Servicio de Recursos naturales e Instituto de calidad de suelo. Traducción al español por Alberto Lutens y Juan Carlos Salazar Lea Plaza del Instituto de suelos, Argentina. [http:// soil. usda.gov/sqi/files/sq_htr_2.pdf](http://soil.usda.gov/sqi/files/sq_htr_2.pdf)
- USDA.-NRCS. 1996. Indicators for Soil Quality evaluation. Soil quality information Sheet. [http:// soil. usda. gov/sqi/ sq_htr_2.pdf](http://soil.usda.gov/sqi/sq_htr_2.pdf)
- Tabatabai M. 1994. Soil enzymes. *In* Weavve R. W., J.S. Angle and P.S. Bottomley, D. Besdizek, S Smith, A Tabatabai, A. Wollum (ed). Pp 755-834. Methods of soil analysis. Part 2. Microbial and biochemical properties. Soil Sci of Am. USA.
- Valderrábano G. J. M. 2005. Calidad del suelo y estado nutrimental de la vegetación forestal del Parque Nacional Zoquiapan y Anexas. Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Velázquez A., J.F. y Mas, J. L. Palacio 2001. Análisis del cambio de uso del suelo. Instituto Nacional de Ecología-Instituto de Geografía, UNAM (Informe Técnico) ([www. ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx))
- Wriht, S.J. 1992. Seasonal drought, soil fertility and the species density of tropical forest plant communities. *Trends in Ecology and Evolution* 7:260-263.
- Zautua M. I, Dumenil L. C, y Bremner J.M. 1997. Relationships between soil urease activity and other soil properties. *Soil Science Society of America Journal*. 41:350-352.

10. ANEXO I

DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD UREASAS DEL SUELO

La mayoría de los métodos utilizados de la actividad ureasa en suelos, involucra la determinación de NH_4^+ liberado después de la incubación, en solución amortiguadora y con urea, del suelo tratado con tolueno, pero la actividad de la ureasa, también puede estimarse por liberación del CO_2 posterior a la acción hidrolítica de la enzima o bien por estimación de la urea remanente posterior a la incubación de una suspensión de suelo con tolueno y una solución de urea y así por diferencia de la urea agregada y la recuperada después de un tiempo de incubación establecido, se conoce la actividad ureasa del suelo.

El método propuesto por Tabatabai y Bremner, 1972 citado en Tabatabai, 1994, consiste en estimar el NH_4^+ y aún en suelos fijadores de este compuesto ha sido utilizado con éxito.

REACTIVOS

-Tolueno

-Tris (hidroximetil) aminometano (THAM $\text{NH}_2\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_3$, $\text{PM} = 121 \text{ g mol}^{-1}$)
0.05 M , pH 9.0

Disolver 6.05 g de THAM EN 700 ml de agua, llevar el pH de la solución a 9.0. Utilice H_2SO_4 0.2 M o NaOH 0.1 M* y lleve a 1 L con agua.

- Solución de urea (NH_2CONH_2 , $\text{PM} = 60.053 \text{ g mol}^{-1}$) 0.2 M
Disolver 1.2 g de urea en 80 mL de buffer THAM y diluir a 100 con el mismo Buffer THAM (guardar en refrigerador)

- $\text{KCl-Ag}_2\text{SO}_4$, Solución (KCl 2.5 M-100 ppm de Ag_2SO_4)
Disolver 100 mg de Ag_2SO_4 en 700 mL de agua y a esa solución agregar 187 g de KCl y aforar a 1L con agua.

-Reactivos para determinar N-NH_4^+ (MgO , solución de mezcla de indicadores con H_3BO_3).

Disolver, en un matraz de 5 L de contenido, 80 g de H_3BO_3 en cerca de 3 L de agua marcar el volumen a 4L. Calentar y agitar vigorosamente y con velocidad hasta la disolución del ácido. Enfriar y agregar 80 mL de solución de mezcla de indicadores (99 mg de verde de bromocresol más 66 mg de rojo de metilo en 100 mL de alcohol etílico) Agregar lentamente gotas de NaOH 0.1 N hasta que la solución tenga un color rojo púrpura pH cercano a 5.0 llevar a volumen final de 4 L con agua perfectamente.

- H_2SO_4 0.0025 N
Diluir 0.07 mL de H_2SO_4 concentrado (1.84 g mol^{-1} y 95% de pureza) en agua y aforar.

PROCEDIMIENTO

- a) Colocar 2.5 g de suelo <2mm en tubos de ensaye de 70 mL (Correr para cada suelo, una muestra blanco bajo el mismo procedimiento, sustituyendo con agua, el volumen de solución de urea).

Agregar 0.1 mL de tolueno y 4.5 mL de Buffer THAM, agitar por unos segundos para homogeneizar.

Agregar 0.5 mL de urea 0.2 M, agitar nuevamente para su mezcla.

Tapar e incubar a 37° C por dos horas. Colocar aproximadamente 15 mL de KCl-Ag₂SO₄, dejar enfriar y aforar a 25 mL de volumen con esta solución. Mezclar nuevamente.

- b) Determinación de amonio por destilación por arrastre de vapor

Para determinar N-NH₄⁺ en la suspensión restante

Adicionar 0.1 de MgO en el bulbo de destilación.

Tomar un volumen de 10 mL de esta suspensión y agregar al bulbo de destilación.

El destilado recibirlo en 10 mL de H₃BO₃ con mezcla de indicadores.

Destilar aproximadamente 4 minutos o hasta un volumen de 50 mL.

Titular con H₂SO₄ 0.0025 N

CÁLCULOS

$$\text{meq NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} = (V_{\text{muestra}} - V_{\text{blanco}}) (N_{\text{ácido}}) (\text{Peso muestra}) (h^{-1})$$

Donde:

V muestra: volumen en mL de H₂SO₄ gastado para titular la muestra.

V blanco: volumen en mL de H₂SO₄ gastado para titular el blanco.

N ácido: normalidad valorada del H₂SO₄

Peso de la muestra en gramos

BIBLIOGRAFIA

TABATABAI Y BREMNER, 1972 Tabatabai, M. 1994. Soil Enzymes in R.W Weavwe, J.S Angle and P.S Bottomley 1994. Methods of Soil Analysis Part 2 Microbiological and Biochemical Properties. Soli Science of America . U.S.A

11. ANEXO II

EVOLUCIÓN DE CO₂ POR EL MÉTODO DE FUMIGACIÓN E INCUBACIÓN, PARA LA DETERMINACIÓN DE CBM.

El método de fumigación e incubación se basa en que, cuando un suelo se esteriliza con cloroformo y después se reinocula con una pequeña dosis de suelo fresco, las células microbianas destruidas actuarán como sustrato carbonado y durante su descomposición desprendarán, en forma de CO₂, una proporción de sus componentes carbonados que, además, resulta razonablemente constante. Midiendo el CO₂ desprendido por determinadas células microbianas añadidas al suelo, en condiciones normalizadas, utilizando un factor, se permite el cálculo de la biomasa a partir de las medidas del CO₂ desprendido (Harris, 1992, citado por Granados, 2003).

PROCEDIMIENTO

Hacer pasar el suelo fresco (con la humedad que presenta en campo) por una malla de 2 mm de abertura para eliminar restos orgánicos.

Separar la muestra en dos fracciones, 1 (suelo para fumigar) y 2 (suelo natural) pesando 20 g para cada fracción y colocarlas en frascos de vidrio con tapa hermética.

A la fracción 1, se le adicionan 7 mL de cloroformo y a la fracción 2, se le adicionan 7 mL de agua esterilizada, se cierran y se mantienen así por 48 horas. Terminada la fumigación, se abren los frascos y se colocan en baño maría a 40 °C, hasta que el cloroformo se elimine. Ambos suelos, (fumigado y natural) se reinoculan con 1 g de suelo natural.

A las dos fracciones se les agrega la cantidad necesaria de agua para llevarlas a capacidad de campo.

Nota: el suministro de agua se ara mL por mL.

Las muestras del mismo lugar deben llevar la misma cantidad de agua.

Se introduce en cada frasco un tubo de ensaye que contenga 7 mL de hidróxido de potasio (KOH) 0.5 N y una tira de papel filtro procurando que la longitud de ésta sea ligeramente mayor que la del tubo.

*Colocar para la corrección de la normalidad, un blanco absoluto (frasco que contenga un tubo con solo 7 mL de KOH 0.5 N). Hacer esto por duplicado.

Cerrar los frascos e incubar entre 35 y 37 °C, por el tiempo establecido previamente por el analista (10, 20, etc. días).

Al término de la incubación, sacar los frascos de la estufa. Sacar el tubo de ensaye y transferir su contenido en un matraz Erlenmeyer de 50 mL. Enjuagar el tubo con 1 mL d agua libre de CO₂.

Colocar 2 o 3 gotas de fenolftaleína como indicador y proceder a titular con HCl 0.5 N. incluir un blanco de titulación.

Realizar los cálculos para determinar los mg de CO₂ producidos y de carbono en biomasa microbiana.

CÁLCULOS

Calcular los miliequivalentes de KOH en el blanco y en las muestras problema.
(Normalidad del ácido) (mL gastados en la titulación) = meq KOH

Obtener los miliequivalentes de KOH transformados en K₂CO₃
meq del blanco – meq muestra = meq K₂CO₃

Igualar unidades a equivalentes químicos.
meq K₂CO₃ / 1000 = eq K₂CO₃

A partir de esto, obtener gramos de K₂CO₃ formados.
(eq de K₂CO₃) (PM K₂CO₃/# H sustituibles) = g de K₂CO₃

Por estequiometría se obtienen los miligramos de CO₂.
[(g de K₂CO₃) (PM CO₂) / PM K₂CO₃] 1000 = mg CO₂

Por último obtener el peso del C en Biomasa Microbiana (CBM).
(mg CO₂ suelo fumigado – mg CO₂ suelo natural) / 0.45 = CBM mg

12. APÉNDICE

Apéndice A

Coefficiente de correlación de Pearson para las variables determinadas en la Reserva de la Biosfera El Cielo.

Prob > |r| H0: Rho=0

29 Variables:	PEN	EXP	GEN	ESP	ALT	UREASA	NTOT	PHAGUA
	PHKCL	CN	COS	MO	CMANT	CBM	CO2	CP
	PDISP	DA	DR	EP	CE	ARCI	LIM	ARE
	NFOL	PFOL	NMANT	PMAN	PTOT			
	PEN	EXP	GEN	ESP	ALT	UREASA	NTOT	PHAGUA
PEN	1.00000 0.0 119	-0.14227 0.1227 119	0.41146 0.0001 113	0.49585 0.0001 113	-0.22860 0.0124 119	0.09822 0.3007 113	0.72851 0.0001 75	0.02241 0.8088 119
EXP	-0.14227 0.1227 119	1.00000 0.0 119	-0.01521 0.8730 113	-0.25922 0.0056 113	-0.52518 0.0001 119	0.86182 0.0001 113	-0.30146 0.0086 75	0.88709 0.0001 119
GEN	0.41146 0.0001 113	-0.01521 0.8730 113	1.00000 0.0 113	0.83461 0.0001 113	-0.26275 0.0049 113	0.06424 0.4991 113	0.23710 0.0405 75	0.02486 0.7938 113
ESP	0.49585 0.0001 113	-0.25922 0.0056 113	0.83461 0.0001 113	1.00000 0.0 113	-0.18080 0.0553 113	-0.12120 0.2010 113	0.32251 0.0048 75	-0.18232 0.0533 113
ALT	-0.22860 0.0124 119	-0.52518 0.0001 119	-0.26275 0.0049 113	-0.18080 0.0553 113	1.00000 0.0 119	-0.77112 0.0001 113	-0.00886 0.9398 75	-0.63920 0.0001 119
UREASA	0.09822 0.3007 113	0.86182 0.0001 113	0.06424 0.4991 113	-0.12120 0.2010 113	-0.77112 0.0001 113	1.00000 0.0 113	-0.07483 0.5235 75	0.97509 0.0001 113
	PEN	EXP	GEN	ESP	ALT	UREASA	NTOT	PHAGUA
NTOT	0.72851 0.0001 75	-0.30146 0.0086 75	0.23710 0.0405 75	0.32251 0.0048 75	-0.00886 0.9398 75	-0.07483 0.5235 75	1.00000 0.0 75	-0.08181 0.4853 75
PHAGUA	0.02241 0.8088 119	0.88709 0.0001 119	0.02486 0.7938 113	-0.18232 0.0533 113	-0.63920 0.0001 119	0.97509 0.0001 113	-0.08181 0.4853 75	1.00000 0.0 119
PHKCL	0.38822 0.0001 116	0.29679 0.0012 116	0.17033 0.0752 110	0.14209 0.1387 110	-0.27057 0.0033 116	0.44415 0.0001 110	0.50093 0.0001 73	0.46403 0.0001 116
CN	-0.29615 0.0099 75	-0.10020 0.3924 75	-0.20261 0.0813 75	-0.21001 0.0705 75	0.17167 0.1408 75	-0.25416 0.0278 75	-0.54067 0.0001 75	-0.26292 0.0227 75
COS	0.47562 0.0001 79	-0.19876 0.0791 79	0.18105 0.1201 75	0.25070 0.0301 75	0.13948 0.2202 79	-0.16565 0.1555 75	0.70838 0.0001 75	-0.15360 0.1765 79
MO	0.35196 0.0015 79	0.65007 0.0001 79	0.13777 0.2385 75	-0.03853 0.7428 75	-0.52986 0.0001 79	0.76857 0.0001 75	0.37611 0.0009 75	0.74070 0.0001 79

	PEN	EXP	GEN	ESP	ALT	UREASA	NTOT	PHAGUA
CMANT	0.14361 0.2190 75	-0.18559 0.1109 75	0.09508 0.4171 75	0.24129 0.0370 75	0.02565 0.8271 75	-0.10530 0.3686 75	-0.14287 0.2214 75	-0.15830 0.1749 75
CBM	0.03451 0.8326 40	0.96837 0.0001 40	0.00618 0.9698 40	-0.31884 0.0449 40	-0.86334 0.0001 40	0.99065 0.0001 40	-0.17376 0.2901 39	0.99216 0.0001 40
CO2	-0.07953 0.5355 63	-0.32808 0.0087 63	0.26845 0.0334 63	0.31527 0.0118 63	0.17739 0.1643 63	-0.23156 0.0678 63	0.55851 0.0001 63	-0.23015 0.0696 63
CP	-0.14539 0.2011 79	-0.19364 0.0873 79	-0.16667 0.1529 75	-0.15165 0.1940 75	0.30676 0.0060 79	-0.11304 0.3342 75	0.26230 0.0230 75	-0.08646 0.4487 79
PDISP	0.02243 0.8095 118	0.89321 0.0001 118	0.02033 0.8315 112	-0.18996 0.0448 112	-0.66313 0.0001 118	0.98747 0.0001 112	-0.12094 0.3013 75	0.98974 0.0001 118
DA	0.00389 0.9711 89	0.91235 0.0001 89	0.00843 0.9397 83	-0.23621 0.0316 83	-0.69964 0.0001 89	0.98895 0.0001 83	-0.13471 0.2492 75	0.98965 0.0001 89
	PEN	EXP	GEN	ESP	ALT	UREASA	NTOT	PHAGUA
DR	-0.00564 0.9582 89	0.91837 0.0001 89	0.00616 0.9559 83	-0.23973 0.0290 83	-0.70439 0.0001 89	0.98824 0.0001 83	-0.14626 0.2105 75	0.98853 0.0001 89
EP	-0.17980 0.0918 89	0.23107 0.0294 89	-0.00884 0.9368 83	-0.04313 0.6987 83	-0.22628 0.0330 89	0.05984 0.5910 83	-0.26976 0.0193 75	0.03852 0.7201 89
CE	0.59214 0.0001 105	-0.18157 0.0638 105	0.29767 0.0028 99	0.36967 0.0002 99	0.11037 0.2624 105	-0.06597 0.5165 99	0.47045 0.0001 73	-0.02832 0.7743 105
ARCI	-0.20827 0.1510 49	-0.02026 0.8901 49	-0.19542 0.1881 47	-0.25805 0.0799 47	0.20497 0.1577 49	-0.05501 0.7134 47	-0.22922 0.1212 47	-0.02287 0.8760 49
LIM	0.09847 0.5678 36	0.97116 0.0001 36	0.03745 0.8335 34	-0.30940 0.0750 34	-0.83278 0.0001 36	0.99675 0.0001 34	-0.17403 0.3328 33	0.99694 0.0001 36
ARE	-0.19811 0.2539 35	-0.56031 0.0005 35	0.02657 0.8833 33	0.27215 0.1255 33	0.17263 0.3214 35	-0.47860 0.0048 33	0.49861 0.0031 33	-0.46150 0.0053 35
	PEN	EXP	GEN	ESP	ALT	UREASA	NTOT	PHAGUA
NFOL	-0.06935 0.6049 58	0.04105 0.7596 58	-0.19093 0.1511 58	-0.26369 0.0455 58	0.28604 0.0295 58	-0.09001 0.5016 58	-0.35023 0.0076 57	-0.06714 0.6165 58
PFOL	-0.17218 0.0917 97	0.35975 0.0003 97	-0.19928 0.0504 97	-0.32850 0.0010 97	0.00795 0.9384 97	0.28664 0.0044 97	-0.43720 0.0002 66	0.29161 0.0038 97
NMANT	0.15290 0.1934 74	0.71685 0.0001 74	0.18030 0.1242 74	-0.07614 0.5191 74	-0.69320 0.0001 74	0.82430 0.0001 74	-0.10850 0.3609 73	0.80999 0.0001 74
PMAN	0.17457 0.0656 112	-0.06528 0.4941 112	0.21625 0.0220 112	0.12362 0.1941 112	0.01910 0.8415 112	0.00387 0.9677 112	-0.29836 0.0093 75	-0.02075 0.8281 112

PTOT	0.46513 0.0001 79	-0.35387 0.0014 79	0.34423 0.0025 75	0.47894 0.0001 75	-0.43863 0.0001 79	0.53597 0.0001 75	0.43369 0.0001 74	-0.04843 0.6717 79
	PHKCL	CN	COS	MO	CMANT	CBM	CO2	CP
PEN	0.38822 0.0001 116	-0.29615 0.0099 75	0.47562 0.0001 79	0.35196 0.0015 79	0.14361 0.2190 75	0.03451 0.8326 40	-0.07953 0.5355 63	-0.14539 0.2011 79
EXP	0.29679 0.0012 116	-0.10020 0.3924 75	-0.19876 0.0791 79	0.65007 0.0001 79	-0.18559 0.1109 75	0.96837 0.0001 40	-0.32808 0.0087 63	-0.19364 0.0873 79
GEN	0.17033 0.0752 110	-0.20261 0.0813 75	0.18105 0.1201 75	0.13777 0.2385 75	0.09508 0.4171 75	0.00618 0.9698 40	0.26845 0.0334 63	-0.16667 0.1529 75
ESP	0.14209 0.1387 110	-0.21001 0.0705 75	0.25070 0.0301 75	-0.03853 0.7428 75	0.24129 0.0370 75	-0.31884 0.0449 40	0.31527 0.0118 63	-0.15165 0.1940 75
ALT	-0.27057 0.0033 116	0.17167 0.1408 75	0.13948 0.2202 79	-0.52986 0.0001 79	0.02565 0.8271 75	-0.86334 0.0001 40	0.17739 0.1643 63	0.30676 0.0060 79
UREASA	0.44415 0.0001 110	-0.25416 0.0278 75	-0.16565 0.1555 75	0.76857 0.0001 75	-0.10530 0.3686 75	0.99065 0.0001 40	-0.23156 0.0678 63	-0.11304 0.3342 75
	PHKCL	CN	COS	MO	CMANT	CBM	CO2	CP
NTOT	0.50093 0.0001 73	-0.54067 0.0001 75	0.70838 0.0001 75	0.37611 0.0009 75	-0.14287 0.2214 75	-0.17376 0.2901 39	0.55851 0.0001 63	0.26230 0.0230 75
PHAGUA	0.46403 0.0001 116	-0.26292 0.0227 75	-0.15360 0.1765 79	0.74070 0.0001 79	-0.15830 0.1749 75	0.99216 0.0001 40	-0.23015 0.0696 63	-0.08646 0.4487 79
PHKCL	1.00000 0.0 116	-0.38223 0.0008 73	0.49449 0.0001 77	0.73894 0.0001 77	0.09681 0.4152 73	0.56466 0.0001 40	0.28678 0.0227 63	0.21829 0.0565 77
CN	-0.38223 0.0008 73	1.00000 0.0 75	0.01127 0.9236 75	-0.19713 0.0900 75	-0.04126 0.7252 75	-0.28699 0.0765 39	-0.20507 0.1069 63	-0.00988 0.9330 75
COS	0.49449 0.0001 77	0.01127 0.9236 75	1.00000 0.0 79	0.54188 0.0001 79	-0.22391 0.0535 75	-0.30299 0.0608 39	0.47200 0.0001 63	0.34386 0.0019 79
MO	0.73894 0.0001 77	-0.19713 0.0900 75	0.54188 0.0001 79	1.00000 0.0 79	-0.28529 0.0131 75	0.90352 0.0001 39	0.00695 0.9569 63	0.14965 0.1881 79
	PHKCL	CN	COS	MO	CMANT	CBM	CO2	CP
CMANT	0.09681 0.4152 73	-0.04126 0.7252 75	-0.22391 0.0535 75	-0.28529 0.0131 75	1.00000 0.0 75	-0.23979 0.1415 39	-0.09532 0.4574 63	-0.38991 0.0005 75
CBM	0.56466 0.0001 40	-0.28699 0.0765 39	-0.30299 0.0608 39	0.90352 0.0001 39	-0.23979 0.1415 39	1.00000 0.0 40	-0.33991 0.0342 39	-0.18906 0.2490 39
CO2	0.28678 0.0227	-0.20507 0.1069	0.47200 0.0001	0.00695 0.9569	-0.09532 0.4574	-0.33991 0.0342	1.00000 0.0	0.47088 0.0001

	63	63	63	63	63	39	63	63
CP	0.21829 0.0565 77	-0.00988 0.9330 75	0.34386 0.0019 79	0.14965 0.1881 79	-0.38991 0.0005 75	-0.18906 0.2490 39	0.47088 0.0001 63	1.00000 0.0 79
PDISP	0.39362 0.0001 115	-0.22981 0.0473 75	-0.18603 0.1007 79	0.72493 0.0001 79	-0.14604 0.2112 75	0.99852 0.0001 39	-0.26450 0.0362 63	-0.11331 0.3201 79
DA	0.43210 0.0001 87	-0.22531 0.0519 75	-0.20476 0.0703 79	0.71165 0.0001 79	-0.14661 0.2094 75	0.99883 0.0001 39	-0.26624 0.0349 63	-0.11167 0.3272 79
	PHKCL	CN	COS	MO	CMANT	CBM	CO2	CP
DR	0.42800 0.0001 87	-0.21737 0.0610 75	-0.20779 0.0661 79	0.70913 0.0001 79	-0.14418 0.2172 75	0.99863 0.0001 39	-0.27048 0.0320 63	-0.12244 0.2824 79
EP	0.03116 0.7745 87	0.22438 0.0530 75	0.07360 0.5192 79	0.10394 0.3620 79	0.11130 0.3418 75	0.03542 0.8305 39	-0.07314 0.5689 63	-0.37676 0.0006 79
CE	0.31184 0.0013 103	-0.31922 0.0059 73	0.21623 0.0589 77	0.05433 0.6388 77	0.13129 0.2682 73	-0.12649 0.4492 38	0.29072 0.0219 62	-0.01045 0.9281 77
ARCI	-0.12715 0.3840 49	0.08844 0.5544 47	-0.12564 0.3897 49	-0.10391 0.4774 49	-0.12336 0.4087 47	-0.05588 0.7776 28	-0.33380 0.0234 46	-0.02401 0.8699 49
LIM	0.61751 0.0001 36	-0.33649 0.0555 33	-0.27712 0.1070 35	0.89213 0.0001 35	-0.22562 0.2068 33	0.99851 0.0001 20	-0.35223 0.0480 32	-0.23515 0.1739 35
ARE	0.07143 0.6835 35	-0.19435 0.2785 33	0.28993 0.0911 35	-0.34587 0.0418 35	0.30481 0.0846 33	-0.51460 0.0242 19	0.66482 0.0001 32	0.22754 0.1886 35
	PHKCL	CN	COS	MO	CMANT	CBM	CO2	CP
NFOL	-0.46915 0.0003 56	0.52562 0.0001 57	-0.27064 0.0417 57	-0.23323 0.0808 57	-0.02716 0.8411 57	-0.10902 0.5735 29	-0.54253 0.0001 45	-0.28174 0.0337 57
PFOL	-0.08360 0.4231 94	0.37341 0.0020 66	-0.22625 0.0677 66	0.14175 0.2562 66	-0.15015 0.2288 66	0.41695 0.0176 32	-0.39771 0.0029 54	0.21415 0.0842 66
NMANT	0.43330 0.0001 72	-0.24688 0.0352 73	-0.21014 0.0744 73	0.75088 0.0001 73	-0.14329 0.2265 73	0.80820 0.0001 38	-0.26711 0.0374 61	-0.11793 0.3204 73
PMAN	0.03584 0.7114 109	0.27089 0.0187 75	-0.11195 0.3390 75	-0.13986 0.2314 75	-0.08951 0.4451 75	-0.05000 0.7593 40	-0.40323 0.0011 63	0.20118 0.0835 75
PTOT	0.31959 0.0046 77	-0.31647 0.0060 74	0.31332 0.0052 78	0.31332 0.0052 78	0.21527 0.0655 74	-0.56981 0.0002 39	0.38767 0.0019 62	-0.18420 0.1064 78

Apéndice B

Coefficiente de correlación de Pearson para las variables determinadas en la Reserva de la Biosfera El Cielo.

Prob > |r| H0: Rho=0

29 Variables:	PEN PHKCL PDISP NFOL	EXP CN DA PFOL	GEN COS DR NMANT	ESP MO EP PMAN	ALT CMANT CE PTOT	UREASA CBM ARCI	NTOT CO2 LIM	PHAGUA CP ARE
	PEN	EXP	GEN	ESP	ALT	UREASA	NTOT	PHAGUA
PEN	1.00000 0.0 153	-0.30220 0.0002 150	-0.21548 0.0075 153	0.02540 0.7553 153	0.21762 0.0069 153	-0.21855 0.0066 153	0.48353 0.0001 103	0.18855 0.0427 116
EXP	-0.30220 0.0002 150	1.00000 0.0 154	0.75989 0.0001 154	-0.03377 0.6776 154	-0.73257 0.0001 154	0.26375 0.0010 153	-0.20619 0.0357 104	-0.47783 0.0001 117
GEN	-0.21548 0.0075 153	0.75989 0.0001 154	1.00000 0.0 174	-0.14295 0.0599 174	-0.63649 0.0001 174	0.40502 0.0001 173	-0.09795 0.2913 118	-0.10613 0.2171 137
ESP	0.02540 0.7553 153	-0.03377 0.6776 154	-0.14295 0.0599 174	1.00000 0.0 174	0.27389 0.0003 174	-0.20760 0.0061 173	-0.19899 0.0308 118	-0.16583 0.0528 137
ALT	0.21762 0.0069 153	-0.73257 0.0001 154	-0.63649 0.0001 174	0.27389 0.0003 174	1.00000 0.0 174	-0.63958 0.0001 173	-0.31148 0.0006 118	-0.48023 0.0001 137
UREASA	-0.21855 0.0066 153	0.26375 0.0010 153	0.40502 0.0001 173	-0.20760 0.0061 173	-0.63958 0.0001 173	1.00000 0.0 173	0.83580 0.0001 118	0.02400 0.7815 136
NTOT	0.48353 0.0001 103	-0.20619 0.0357 104	-0.09795 0.2913 118	-0.19899 0.0308 118	-0.31148 0.0006 118	0.83580 0.0001 118	1.00000 0.0 118	0.06905 0.4575 118
PHAGUA	0.18855 0.0427 116	-0.47783 0.0001 117	-0.10613 0.2171 137	-0.16583 0.0528 137	-0.48023 0.0001 137	0.02400 0.7815 136	0.06905 0.4575 118	1.00000 0.0 137
PHKCL	-0.25873 0.0097 99	0.83465 0.0001 100	0.99668 0.0001 114	-0.19950 0.0333 114	-0.62013 0.0001 114	0.38416 0.0001 114	-0.11572 0.2202 114	-0.15402 0.1018 114
CN	-0.39842 0.0001 103	0.09925 0.3162 104	-0.16562 0.0731 118	0.36089 0.0001 118	0.24372 0.0078 118	-0.16029 0.0829 118	-0.20332 0.0272 118	-0.13400 0.1480 118
COS	0.25762 0.0086 103	-0.12569 0.2036 104	-0.06501 0.4843 118	-0.11092 0.2318 118	-0.30424 0.0008 118	0.87073 0.0001 118	0.96554 0.0001 118	-0.02122 0.8195 118
MO	0.25619 0.0090 103	-0.34453 0.0003 104	-0.06681 0.4722 118	-0.19172 0.0375 118	-0.46911 0.0001 118	-0.00027 0.9977 118	0.04219 0.6501 118	0.98488 0.0001 118
CMANT	-0.35525 0.0090 53	0.89277 0.0001 53	0.99222 0.0001 56	-0.35337 0.0076 56	-0.72911 0.0001 56	0.98758 0.0001 56	-0.35826 0.0067 56	-0.13718 0.3134 56
CBM	0.07518 0.4993	-0.13894 0.2103	-0.29451 0.0042	0.29563 0.0040	0.14000 0.1807	-0.30212 0.0032	-0.11553 0.2701	0.33676 0.0010

	83	83	93	93	93	93	93	93
CO2	0.14800 0.2051 75	-0.56671 0.0001 75	-0.32988 0.0018 87	0.22893 0.0329 87	0.59043 0.0001 87	-0.36218 0.0006 87	0.19852 0.0653 87	-0.22797 0.0337 87
CP	0.26966 0.0054 105	-0.47674 0.0001 105	-0.18352 0.0476 117	-0.10490 0.2603 117	0.35455 0.0001 117	-0.17275 0.0625 117	0.65569 0.0001 115	0.17299 0.0633 116
PDISP	-0.25425 0.0016 151	0.77381 0.0001 151	0.97210 0.0001 169	-0.20339 0.0080 169	-0.84484 0.0001 169	0.93867 0.0001 168	-0.29031 0.0016 115	-0.74527 0.0001 133
DA	-0.25245 0.0081 109	0.78987 0.0001 109	0.99336 0.0001 121	-0.23598 0.0092 121	-0.88782 0.0001 121	0.96356 0.0001 121	-0.24440 0.0085 115	-0.76844 0.0001 115
	PEN	EXP	GEN	ESP	ALT	UREASA	NTOT	PHAGUA
DR	-0.24914 0.0090 109	0.78020 0.0001 109	0.98527 0.0001 121	-0.23245 0.0103 121	-0.87432 0.0001 121	0.94526 0.0001 121	-0.25810 0.0054 115	-0.77515 0.0001 115
EP	-0.00641 0.9470 110	0.43634 0.0001 110	0.64639 0.0001 122	-0.12727 0.1624 122	-0.48696 0.0001 122	0.61130 0.0001 122	-0.12658 0.1777 115	-0.71241 0.0001 116
CE	0.19880 0.0340 114	0.36006 0.0001 114	-0.12783 0.1441 132	-0.36010 0.0001 132	-0.38549 0.0001 132	0.11104 0.2067 131	-0.10619 0.2695 110	-0.27874 0.0014 128
ARCI	-0.16600 0.2444 51	0.73425 0.0001 51	0.54128 0.0001 57	0.01380 0.9188 57	-0.56199 0.0001 57	0.53584 0.0001 57	-0.22148 0.0978 57	-0.40480 0.0018 57
LIM	-0.34011 0.0127 53	0.79269 0.0001 54	0.89362 0.0001 60	-0.35428 0.0055 60	-0.68114 0.0001 60	0.28156 0.0293 60	-0.16825 0.1988 60	-0.85536 0.0001 60
ARE	-0.35834 0.0084 53	0.88024 0.0001 53	0.99874 0.0001 61	-0.30297 0.0176 61	-0.72113 0.0001 61	0.96945 0.0001 61	-0.35158 0.0055 61	-0.13706 0.2922 61
	PEN	EXP	GEN	ESP	ALT	UREASA	NTOT	PHAGUA
NFOL	0.09145 0.3535 105	-0.04641 0.6383 105	-0.06418 0.4918 117	-0.08896 0.3402 117	-0.01134 0.9034 117	-0.06402 0.4928 117	-0.01352 0.8860 115	-0.07611 0.4168 116
PFOL	-0.11347 0.1668 150	0.48677 0.0001 150	0.57205 0.0001 168	-0.18782 0.0148 168	-0.48272 0.0001 168	0.56102 0.0001 167	-0.13122 0.1622 115	-0.45415 0.0001 133
NMANT	-0.20729 0.0330 106	0.68430 0.0001 106	0.87087 0.0001 113	-0.21597 0.0216 113	-0.73703 0.0001 113	0.86491 0.0001 113	-0.15871 0.0977 110	-0.71993 0.0001 112
PMAN	-0.22210 0.0063 150	0.75736 0.0001 150	0.99627 0.0001 155	-0.23404 0.0034 155	-0.70686 0.0001 155	0.98401 0.0001 154	-0.25947 0.0070 107	-0.10698 0.2469 119
PTOT	0.00164 0.9875 93	-0.13897 0.1864 92	-0.06860 0.5021 98	-0.01114 0.9133 98	0.09191 0.3681 98	-0.06598 0.5186 98	0.18529 0.0722 95	-0.08068 0.4321 97
	PHKCL	CN	COS	MO	CMANT	CBM	CO2	CP
PEN	-0.25873 0.0097	-0.39842 0.0001	0.25762 0.0086	0.25619 0.0090	-0.35525 0.0090	0.07518 0.4993	0.14800 0.2051	0.26966 0.0054

	99	103	103	103	53	83	75	105
EXP	0.83465 0.0001 100	0.09925 0.3162 104	-0.12569 0.2036 104	-0.34453 0.0003 104	0.89277 0.0001 53	-0.13894 0.2103 83	-0.56671 0.0001 75	-0.47674 0.0001 105
GEN	0.99668 0.0001 114	-0.16562 0.0731 118	-0.06501 0.4843 118	-0.06681 0.4722 118	0.99222 0.0001 56	-0.29451 0.0042 93	-0.32988 0.0018 87	-0.18352 0.0476 117
ESP	-0.19950 0.0333 114	0.36089 0.0001 118	-0.11092 0.2318 118	-0.19172 0.0375 118	-0.35337 0.0076 56	0.29563 0.0040 93	0.22893 0.0329 87	-0.10490 0.2603 117
ALT	-0.62013 0.0001 114	0.24372 0.0078 118	-0.30424 0.0008 118	-0.46911 0.0001 118	-0.72911 0.0001 56	0.14000 0.1807 93	0.59043 0.0001 87	0.35455 0.0001 117
UREASA	0.38416 0.0001 114	-0.16029 0.0829 118	0.87073 0.0001 118	-0.00027 0.9977 118	0.98758 0.0001 56	-0.30212 0.0032 93	-0.36218 0.0006 87	-0.17275 0.0625 117
	PHKCL	CN	COS	MO	CMANT	CBM	CO2	CP
NTOT	-0.11572 0.2202 114	-0.20332 0.0272 118	0.96554 0.0001 118	0.04219 0.6501 118	-0.35826 0.0067 56	-0.11553 0.2701 93	0.19852 0.0653 87	0.65569 0.0001 115
PHAGUA	-0.15402 0.1018 114	-0.13400 0.1480 118	-0.02122 0.8195 118	0.98488 0.0001 118	-0.13718 0.3134 56	0.33676 0.0010 93	-0.22797 0.0337 87	0.17299 0.0633 116
PHKCL	1.00000 0.0 114	-0.15505 0.0995 114	-0.08058 0.3940 114	-0.11255 0.2332 114	0.99402 0.0001 54	-0.30411 0.0038 89	-0.31654 0.0032 85	-0.19026 0.0455 111
CN	-0.15505 0.0995 114	1.00000 0.0 118	-0.01646 0.8596 118	-0.08751 0.3460 118	-0.28125 0.0357 56	0.02127 0.8396 93	0.12459 0.2502 87	-0.18021 0.0540 115
COS	-0.08058 0.3940 114	-0.01646 0.8596 118	1.00000 0.0 118	-0.04489 0.6293 118	-0.41761 0.0014 56	-0.15846 0.1292 93	0.50304 0.0001 87	0.45630 0.0001 115
MO	-0.11255 0.2332 114	-0.08751 0.3460 118	-0.04489 0.6293 118	1.00000 0.0 118	-0.09477 0.4872 56	-0.16144 0.1221 93	-0.20645 0.0551 87	0.45591 0.0001 115

Apéndice C

Coefficiente de correlación de Pearson para las variables determinadas en la Reserva de la Biosfera El Cielo.

Prob > |r| H0: Rho=0

29 Variables:	PEN PHKCL PDISP NFOL	EXP CN DA PFOL	GEN COS DR NMANT	ESP MO EP PMAN	ALT CMANT CE PTOT	UREASA CBM ARCI	NTOT CO2 LIM	PHAGUA CP ARE
	PEN	EXP	GEN	ESP	ALT	UREASA	NTOT	PHAGUA
PEN	1.00000 0.0 49	-0.31601 0.0390 43	-0.09686 0.5079 49	-0.07205 0.6228 49	-0.16948 0.2443 49	-0.00339 0.9846 35	-0.64408 0.0001 33	-0.10502 0.4727 49
EXP	-0.31601 0.0390 43	1.00000 0.0 50	0.19702 0.1703 50	0.12153 0.4005 50	0.43571 0.0016 50	-0.46269 0.0051 35	-0.37196 0.0303 34	-0.10809 0.4550 50
GEN	-0.09686 0.5079 49	0.19702 0.1703 50	1.00000 0.0 59	0.93170 0.0001 59	0.22384 0.0883 59	0.49560 0.0006 44	-0.31860 0.0451 40	0.54478 0.0001 59
ESP	-0.07205 0.6228 49	0.12153 0.4005 50	0.93170 0.0001 59	1.00000 0.0 59	0.40953 0.0013 59	0.54239 0.0001 44	-0.58715 0.0001 40	0.58362 0.0001 59
ALT	-0.16948 0.2443 49	0.43571 0.0016 50	0.22384 0.0883 59	0.40953 0.0013 59	1.00000 0.0 59	-0.14746 0.3395 44	-0.90859 0.0001 40	0.20648 0.1166 59
UREASA	-0.00339 0.9846 35	-0.46269 0.0051 35	0.49560 0.0006 44	0.54239 0.0001 44	-0.14746 0.3395 44	1.00000 0.0 44	-0.20500 0.2861 29	0.48007 0.0010 44
NTOT	-0.64408 0.0001 33	-0.37196 0.0303 34	-0.31860 0.0451 40	-0.58715 0.0001 40	-0.90859 0.0001 40	-0.20500 0.2861 29	1.00000 0.0 40	-0.21525 0.1822 40
PHAGUA	-0.10502 0.4727 49	-0.10809 0.4550 50	0.54478 0.0001 59	0.58362 0.0001 59	0.20648 0.1166 59	0.48007 0.0010 44	-0.21525 0.1822 40	1.00000 0.0 59
PHKCL	-0.25197 0.1572 33	0.47146 0.0049 34	0.32844 0.0385 40	0.45836 0.0029 40	0.61558 0.0001 40	-0.17095 0.3753 29	-0.70764 0.0001 40	0.35597 0.0242 40
CN	-0.04838 0.7892 33	-0.01375 0.9385 34	-0.14146 0.3839 40	-0.06766 0.6783 40	0.07231 0.6575 40	0.15252 0.4296 29	-0.18849 0.2441 40	-0.61963 0.0001 40
COS	-0.63639 0.0001 33	-0.38537 0.0244 34	-0.32820 0.0387 40	-0.59323 0.0001 40	-0.90754 0.0001 40	0.17135 0.3741 29	0.99794 0.0001 40	-0.23288 0.1481 40
MO	-0.63639 0.0001 33	0.44288 0.0098 33	0.26548 0.1024 39	0.21250 0.1940 39	0.53797 0.0004 39	0.17135 0.3741 29	0.44794 0.0042 39	0.26474 0.1034 39
CMANT	0.60992 0.0093 17	-0.19407 0.4554 17	-0.49888 0.0251 20	-0.44754 0.0479 20	-0.38705 0.0918 20	-0.12494 0.6573 15	-0.84761 0.0001 20	-0.79209 0.0001 20
CBM	-0.38959	0.34412	0.24374	0.47706	0.48641	0.68328	-0.51080	0.24853

	0.4452 6	0.4498 7	0.4223 13	0.0993 13	0.0919 13	0.0205 11	0.0745 13	0.4129 13
CO2	0.01137 0.9807 7	0.25773 0.5768 7	0.84139 0.0003 13	0.93751 0.0001 13	0.75010 0.0031 13	0.44233 0.1731 11	0.53460 0.0598 13	0.17184 0.5746 13
CP	-0.60137 0.0002 33	0.13619 0.4498 33	0.35452 0.0268 39	0.36619 0.0219 39	0.56209 0.0002 39	0.31302 0.0983 29	0.42780 0.0066 39	0.49802 0.0013 39
PDISP	0.55092 0.0004 37	-0.31584 0.0569 37	-0.44762 0.0018 46	-0.43083 0.0028 46	-0.45409 0.0015 46	-0.28388 0.0984 35	-0.60897 0.0001 39	-0.56190 0.0001 46
DA	-0.18589 0.3003 33	0.50289 0.0029 33	0.43364 0.0058 39	0.30631 0.0579 39	0.33574 0.0367 39	0.06781 0.7267 29	0.41833 0.0080 39	0.11471 0.4868 39
	PEN	EXP	GEN	ESP	ALT	UREASA	NTOT	PHAGUA
DR	0.24000 0.1785 33	-0.03967 0.8265 33	0.27949 0.0849 39	0.24064 0.1400 39	0.05877 0.7223 39	-0.36362 0.0525 29	0.03339 0.8401 39	-0.05750 0.7281 39
EP	0.27567 0.1205 33	-0.53053 0.0015 33	-0.53206 0.0005 39	-0.41777 0.0081 39	-0.35959 0.0246 39	-0.25576 0.1805 29	-0.57608 0.0001 39	-0.22204 0.1743 39
CE	0.15750 0.2798 49	-0.01586 0.9139 49	0.29305 0.0256 58	0.25701 0.0515 58	0.08012 0.5499 58	0.52957 0.0002 44	0.10468 0.5259 39	-0.02065 0.8777 58
ARCI	0.21517 0.4069 17	-0.28222 0.2724 17	-0.14772 0.5343 20	-0.15397 0.5169 20	0.07882 0.7412 20	0.09690 0.7312 15	-0.21815 0.3555 20	-0.23572 0.3171 20
LIM	0.46288 0.0613 17	-0.33056 0.1950 17	0.06804 0.7756 20	0.08189 0.7314 20	0.23128 0.3265 20	0.32614 0.2355 15	-0.22534 0.3395 20	-0.03095 0.8969 20
ARE	-0.11430 0.6622 17	0.02090 0.9365 17	-0.16616 0.4838 20	-0.17080 0.4715 20	-0.51488 0.0202 20	0.05916 0.8341 15	-0.20624 0.3830 20	-0.11199 0.6383 20
	PEN	EXP	GEN	ESP	ALT	UREASA	NTOT	PHAGUA
NFOL	-0.23718 0.1838 33	-0.10210 0.5718 33	0.13637 0.4078 39	0.17575 0.2845 39	0.31834 0.0483 39	-0.41984 0.0234 29	0.38006 0.0170 39	0.21296 0.1930 39
PFOL	-0.24320 0.1529 36	-0.09065 0.5990 36	0.26267 0.0813 45	0.29282 0.0509 45	0.34632 0.0198 45	-0.37108 0.0282 35	0.39593 0.0126 39	0.25516 0.0907 45
NMANT	0.05073 0.7792 33	-0.12355 0.4863 34	-0.40364 0.0098 40	-0.25321 0.1149 40	0.12739 0.4334 40	-0.14027 0.4680 29	-0.29839 0.0615 40	-0.41094 0.0084 40
PMAN	-0.16228 0.3517 35	-0.02242 0.8983 35	0.32186 0.0353 43	0.33733 0.0270 43	0.31598 0.0390 43	-0.19544 0.2680 34	0.30467 0.0629 38	0.24797 0.1089 43
PTOT	0.22558 0.3840 17	0.03501 0.8939 17	0.43883 0.0362 23	0.38302 0.0712 23	0.09351 0.6713 23	0.18513 0.4346 20	0.09208 0.6761 23	-0.03356 0.8792 23
	PHKCL	CN	COS	MO	CMANT	CBM	CO2	CP
PEN	-0.25197	-0.04838	-0.63639	-0.63639	0.60992	-0.38959	0.01137	-0.60137

	0.1572 33	0.7892 33	0.0001 33	0.0001 33	0.0093 17	0.4452 6	0.9807 7	0.0002 33
EXP	0.47146 0.0049 34	-0.01375 0.9385 34	-0.38537 0.0244 34	0.44288 0.0098 33	-0.19407 0.4554 17	0.34412 0.4498 7	0.25773 0.5768 7	0.13619 0.4498 33
GEN	0.32844 0.0385 40	-0.14146 0.3839 40	-0.32820 0.0387 40	0.26548 0.1024 39	-0.49888 0.0251 20	0.24374 0.4223 13	0.84139 0.0003 13	0.35452 0.0268 39
ESP	0.45836 0.0029 40	-0.06766 0.6783 40	-0.59323 0.0001 40	0.21250 0.1940 39	-0.44754 0.0479 20	0.47706 0.0993 13	0.93751 0.0001 13	0.36619 0.0219 39
ALT	0.61558 0.0001 40	0.07231 0.6575 40	-0.90754 0.0001 40	0.53797 0.0004 39	-0.38705 0.0918 20	0.48641 0.0919 13	0.75010 0.0031 13	0.56209 0.0002 39
UREASA	-0.17095 0.3753 29	0.15252 0.4296 29	0.17135 0.3741 29	0.17135 0.3741 29	-0.12494 0.6573 15	0.68328 0.0205 11	0.44233 0.1731 11	0.31302 0.0983 29
	PHKCL	CN	COS	MO	CMANT	CBM	CO2	CP
NTOT	-0.70764 0.0001 40	-0.18849 0.2441 40	0.99794 0.0001 40	0.44794 0.0042 39	-0.84761 0.0001 20	-0.51080 0.0745 13	0.53460 0.0598 13	0.42780 0.0066 39
PHAGUA	0.35597 0.0242 40	-0.61963 0.0001 40	-0.23288 0.1481 40	0.26474 0.1034 39	-0.79209 0.0001 20	0.24853 0.4129 13	0.17184 0.5746 13	0.49802 0.0013 39
PHKCL	1.00000 0.0 40	-0.15464 0.3407 40	-0.72852 0.0001 40	0.01451 0.9302 39	-0.39627 0.0837 20	0.40207 0.1732 13	0.10175 0.7408 13	-0.16504 0.3154 39
CN	-0.15464 0.3407 40	1.00000 0.0 40	-0.13976 0.3897 40	-0.00538 0.9741 39	0.74413 0.0002 20	0.20359 0.5047 13	-0.23035 0.4490 13	-0.17756 0.2795 39
COS	-0.72852 0.0001 40	-0.13976 0.3897 40	1.00000 0.0 40	1.00000 0.0001 39	-0.44932 0.0469 20	-0.50609 0.0776 13	0.07660 0.8036 13	0.84023 0.0001 39
MO	0.01451 0.9302 39	-0.00538 0.9741 39	1.00000 0.0001 39	1.00000 0.0 39	-0.44932 0.0469 20	0.10872 0.7366 12	0.07660 0.8036 13	0.84023 0.0001 39
	PHKCL	CN	COS	MO	CMANT	CBM	CO2	CP
CMANT	-0.39627 0.0837 20	0.74413 0.0002 20	-0.44932 0.0469 20	-0.44932 0.0469 20	1.00000 0.0 20	-0.27943 0.5918 6	-0.68915 0.0868 7	-0.55893 0.0104 20
CBM	0.40207 0.1732 13	0.20359 0.5047 13	-0.50609 0.0776 13	0.10872 0.7366 12	-0.27943 0.5918 6	1.00000 0.0 13	0.92415 0.0001 12	0.30761 0.3307 12
CO2	0.10175 0.7408 13	-0.23035 0.4490 13	0.07660 0.8036 13	0.07660 0.8036 13	-0.68915 0.0868 7	0.92415 0.0001 12	1.00000 0.0 13	-0.64085 0.0183 13
CP	-0.16504 0.3154 39	-0.17756 0.2795 39	0.84023 0.0001 39	0.84023 0.0001 39	-0.55893 0.0104 20	0.30761 0.3307 12	-0.64085 0.0183 13	1.00000 0.0 39
PDISP	-0.08036 0.6267 39	0.37180 0.0198 39	-0.64160 0.0001 39	-0.64160 0.0001 39	0.59030 0.0061 20	-0.44205 0.1502 12	0.74693 0.0033 13	-0.81722 0.0001 39

DA	0.21881 0.1808 39	-0.18778 0.2523 39	0.36570 0.0221 39	0.36570 0.0221 39	-0.52924 0.0164 20	-0.11970 0.7110 12	0.95670 0.0001 13	0.25188 0.1219 39
	PHKCL	CN	COS	MO	CMANT	CBM	CO2	CP
DR	0.03670 0.8245 39	-0.08123 0.6230 39	-0.19541 0.2332 39	-0.19541 0.2332 39	-0.13649 0.5661 20	-0.18975 0.5547 12	0.99448 0.0001 13	-0.26243 0.1065 39
EP	-0.23588 0.1483 39	0.27877 0.0857 39	-0.50214 0.0011 39	-0.50214 0.0011 39	0.56432 0.0095 20	-0.29405 0.3536 12	-0.93266 0.0001 13	-0.38027 0.0169 39
CE	0.03887 0.8143 39	-0.11247 0.4954 39	-0.12690 0.4414 39	-0.12690 0.4414 39	-0.18971 0.4231 20	-0.03018 0.9258 12	0.99769 0.0001 13	-0.18428 0.2614 39
ARCI	-0.54737 0.0125 20	0.16455 0.4882 20	-0.07544 0.7519 20	-0.07544 0.7519 20	0.23424 0.3202 20	-0.44263 0.3794 6	0.66517 0.1030 7	-0.15746 0.5073 20
LIM	-0.40278 0.0783 20	0.05571 0.8155 20	-0.04830 0.8397 20	-0.04830 0.8397 20	-0.02746 0.9085 20	0.82219 0.0446 6	0.96268 0.0005 7	-0.15389 0.5171 20
ARE	0.19718 0.4047 20	0.20186 0.3934 20	-0.21640 0.3595 20	-0.21640 0.3595 20	0.02742 0.9087 20	-0.44526 0.3762 6	-0.98833 0.0001 7	-0.24625 0.2953 20