

50322  
17



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**Propiedades físicas y químicas de los suelos  
afectados por incendios, en un bosque de *Abies  
religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. Del parque  
nacional "El Chico" Hidalgo.**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
BIÓLOGO  
P R E S E N T A**

**OSWALD GARCÍA QUIROZ**

**DIRECTOR: M. en C. EFRAÍN ÁNGELES CERVANTES**

**PROYECTO PAPIIT IN217300**

A

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.

*Por cuanto habéis dicho: Pacto tenemos hecho con  
la muerte, e hicimos convenio con el seol; cuando  
pase el turbión del azote no llegara a nosotros, por  
que hemos puesto nuestro refugio en la mentira, y  
en la falsedad nos esconderemos.*

*Isaías 28:15*

TESIS CON  
DE ORIGEN

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**. Toda mi vida

A la **Facultad de Estudios Superiores Zaragoza**. Por ser mi *alma mater*

Al **Proyecto PAPITT-IN217300**. Por financiar éste trabajo

Al **M. en C. Efraín Ángeles Cervantes**. Por brindarme la oportunidad de realizar ésta misión bajo su tutela, por su invaluable amistad y consejos, dentro y fuera del ámbito estudiantil.

Al **Dr. Gerardo Cruz Flores**. Por enseñarme y explicarme todas las técnicas de suelo y planta que sustentan el presente trabajo, así como el apoyo dedicado durante el mismo, por su amistad y respeto, fue un placer trabajar en su laboratorio.

Al **M. en C. Manuel Rico Bernal**. Gracias profesor, por la inigualable forma de inundarnos con sus conocimientos.

A la **M. en C. Rosalva García Sánchez**. Por las aportaciones que enriquecieron en gran medida el presente trabajo.

Al **Biólogo Alejandro Tecpa Jiménez**. Por las excelentes correcciones y sugerencias que realizó a la tesis.

A la **Dra. Norma García Calderón** y al **Dr. Pavel Krasilnikov**. Por ayudarme en la descripción de los perfiles de suelo, en cada una de los sitios de estudio.

Al **M. en C. Carlos Castillejos Cruz**. Por haber sido mi profesor de laboratorio y de fisico-química.

Al **M. en C. Armando Cervantes Sandoval** y a la **M. en C. Patricia Rivera García**. Por el apoyo para la impresión de éste trabajo.

A **Socorro**. A este desbordado antojo, a este musgo de la roca donde me alojo. En el panal de tus cuevas puedo ocultarme y brotar, y en tus recónditas corvas puedo poblarte y amar.

A **José Armando Márquez Acuña**. Por los buenos momentos que compartimos juntos en la carrera y por tu amistad.

A mis Compadres **Erik Ramos** y **Horacio Pacheco**. Por las épicas añejas he inmemoriales beligerancias de las que fuimos protagonistas *In situ* de la FES en la que hicimos historia.

De todo corazón a **Gonzalo**. Que desde CCH Vallejo batallamos y batallamos sin lograr absolutamente nada, pero; como invertimos años en ello, gracias por tu amistad, en estos últimos años, juntos no pudimos alcanzar la victoria y por que eso somos... ¡Salud!

C

TESIS CON  
ORIGEN

**Lorenzo:**

Quiero darte las gracias por estar a mi lado, por ayudarme cuando más he necesitado de ti, eres mi orgullo, mi ídolo, mi misma alma y sobre todo mi padre.

**Susana:**

Madre, no puedo ser explícito en decirte lo que siento por ti, ya que no terminaría de escribir, te amo, estas conmigo en todos momentos y eres mi ejemplo a seguir.

**Alberto:**

Amigo gracias por tu amistad, por tus consejos, por tus enseñanzas, que día a día aquilato con más fuerza y son un aliento para seguir adelante en esta vida.

**María:**

Es posible que en este planeta existan seres que puedan tener dos madres ya que son únicos y en mi caso aun más increíble, que una de ellas sea mi hermana, soy muy afortunado no crees.

**Carlos:**

Pasaron tantos años en los que no estuvimos físicamente juntos, pero esos años los recuperaremos con creces y nuestra amistad, amor y cariño será mayúsculo.

**Gabriela:**

Evoco y recuerdo, todos los momentos que la pasamos tan también y se que volverán y que nunca se irán, gracias por el amor que me haz dado.

**Héctor:**

Cuando estas con migo quisiera que no te fueras y aunque tu destino no se encuentra aquí, tu si lo estas.

**Magnolia:**

Hay tantas cosas que nos faltan por compartir en la vida, y esas cosas las disfrutaremos poco a poco, como cuando éramos niños.

0

TESIS CON  
ORIGEN

# CONTENIDO

PAGINAS

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN .....	1
REVISIÓN DE LITERATURA .....	2
Bosque de coníferas .....	2
Bosque <i>Abies</i> .....	3
Distribución de <i>Abies</i> en México .....	4
Principales productos y utilización de los <i>Abies</i> .....	4
<i>Abies religiosa</i> (H.B.K.) Schl. et Cham .....	5
Geología y clima de <i>Abies religiosa</i> .....	6
Nutrición vegetal .....	6
Funciones de los nutrimentos .....	7
Andosoles .....	8
Formación de andosoles .....	8
Propiedades físicas y químicas de los andosoles .....	9
Andosoles en México .....	9
Suelos forestales .....	10
Incendios forestales .....	11
Causas y clases de incendios .....	13
Efecto de los incendios en los suelos forestales .....	15
Regeneración de los bosques .....	17
Regeneración de <i>Abies religiosa</i> .....	19
OBJETIVO GENERAL .....	20
Objetivos particulares .....	20
MATERIALES Y MÉTODOS .....	21
Descripción del área de estudio .....	21
Selección de los sitios y toma de muestras .....	22
ANÁLISIS DE LABORATORIO .....	24
Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo .....	24
Análisis nutrimental en plántulas .....	27
Análisis estadístico de los datos .....	28

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

RESULTADOS .....	29
Caracterización ecológica de los sitios de muestreo .....	29
Perfiles de suelo .....	33
Propiedades físicas .....	35
Propiedades químicas .....	36
Resultados de planta .....	37
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	38
Propiedades físicas del suelo .....	38
Propiedades químicas del suelo .....	39
Análisis nutrimental de plántulas .....	48
Regeneración de <i>Abies religiosa</i> en cada sitio de estudio .....	50
CONCLUSIONES .....	53
LITERATURA CITADA .....	54
X. APÉNDICE .....	60
10.1 Tabla A. Resultados de muestras de suelo profundidad 0-10 cm .....	60
10.2 Tabla B. Resultados de muestras de suelo profundidad 11-20 cm .....	60
10.3 Tabla C. Resultados de las muestras de tejido vegetal .....	61

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

## RESUMEN

Con el fin de conocer el efecto que ocasionaron los incendios sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos en bosque de *Abies religiosa*, este trabajo evaluó estas propiedades de los suelos afectados por incendios de diferente intensidad, en el Parque Nacional "El Chico" Hidalgo.

La zona de estudio se localiza en el kilómetro 13 de la carretera Pachuca-Mineral del Chico, esta área afectada por incendios, se clasificó en: a) Bosque no afectado por incendio, b) Bosque afectado por incendio superficial (el fuego consumió el estrato herbáceo y alcanzó una altura máxima de dos metros sobre el fuste de los árboles), c) Bosque afectado por incendio de copa moderado (el fuego consumió el estrato herbáceo, arbustivo y arbóreo, solo sobrevivieron los árboles más grandes de 35 a 40 metros, las llamas alcanzaron hasta veinte metros) y d) Bosque afectado por incendio de copa severo (el fuego consumió todo el bosque).

En cada sitio se obtuvieron muestras compuestas de suelo, a dos profundidades de 0 a 10 cm y de 11 a 20 cm. Los análisis realizados fueron: Textura, materia orgánica, densidad real, densidad aparente, porosidad, conductividad eléctrica, color así como pH, CIC, N, P, K, Ca, Mg y Na.

En los sitios también se valoró el número de plántulas, de cuatro años de edad, así como su altura y biomasa, además se analizaron muestras de tejido vegetal para conocer su estado nutrimental.

Los resultados, mostraron que la intensidad de los incendios parece no modifican las propiedades físicas del suelo y solamente algunas propiedades químicas (pH y Materia orgánica, P, K, Ca, Mg y CIC) son alteradas. Las plántulas no mostraron deficiencia de nutrientes.

A pesar de no encontrar deficiencia nutrimental en las plántulas de *Abies religiosa*, en cada zona de estudio, las plántulas con mejores características esto es altura, grosor, vigor y densidad se detecto en bosque afectado por incendio de copa moderado.

**Palabras clave:** *Abies*, andosoles, bosque, incendios forestales, suelos.



## INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional "El Chico" en el estado de Hidalgo, fue afectado por incendios forestales en el año de 1998, dañando zonas con bosque de *Abies religiosa*, el principal tipo de vegetación, la importancia de estos eventos radica en la complejidad biológica que tiene un incendio sobre un bosque natural y sobre la regeneración de éste mismo. Después de que el incendio modifica la estructura del bosque, se inicia una sucesión con la regeneración a partir de las zonas de vegetación (Raven *et al.*, 1992).

Según McCarthy *et al.*, (1999), la exposición del suelo al fuego directo provoca cambios físicos y químicos en éste, lo que permite el establecimiento de plántulas; uno de los hechos más importantes es que a través del fuego, se elimina la vegetación herbácea, reduciendo la competencia con las plántulas de coníferas.

Como consecuencia de los incendios, el suelo de los bosques libera grandes cantidades de nutrientes e influye en otros procesos como son la captación de agua, infiltración, densidad, textura, flujos de energía y sucesión ecológica. Los efectos del fuego en un ecosistema dado dependen del régimen de éste, que puede ser caracterizado por el tipo de incendio y la estación en la que ocurre. La intensidad del fuego afecta directamente la regeneración y persistencia de las especies vegetales (Alriksson y Eriksson, 1998; Begon *et al.*, 1998; Marafa y Chau, 1999; Dick *et al.*, 2000).

Pritchett, (1991) afirma que los incendios forestales son un factor importante en la regeneración de los bosques. Para *Abies religiosa* no se han encontrado antecedentes al respecto. De aquí surge la necesidad de estudiar la relación que existe entre los incendios a diferentes intensidades y las propiedades físicas y químicas del suelo y, de esta manera, conocer su influencia en la regeneración del bosque de oyamel.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Bosque de coníferas

Los bosques de coníferas se encuentran entre las plantas vasculares de mayor altura y longevidad en el mundo. Constituyen uno de los grupos vegetales más antiguos y alcanzaron su esplendor mucho antes que los árboles de hoja ancha (Johnson, 1980).

En las zonas de clima templado y frío forman extensos bosques en los hemisferios norte y sur, algunos de los cuales solo se encuentran en condiciones edáficas específicas (Ville, 1992).

Para Santamarina *et al.*, (1997) las coníferas son en su mayoría plantas siempre verdes. Incluyen a los pinos, abetos, cedros, cipreses, enebros, las secuoias y muchos más. Son un grupo en pleno florecimiento y se encuentran en la cumbre evolutiva del reino vegetal.

Se atribuyen varias funciones socio-económicas a estos bosques, basadas en las diferentes necesidades de la población humana. La capacidad que tienen como ecosistema para sostener una función específica depende de las características de su dinámica individual. El manejo sustentable, debe tener en cuenta la compatibilidad entre dichas funciones y características propias del ecosistema (Führer, 2000).

A lo largo de la historia, su función dominante, ha sido proporcionar productos naturales para el hombre ya que son explotados para diversos usos en ellos se encuentran especies maderables, medicinales, alimenticias de uso mágico y religioso (Johnson, 1980; Niembro, 1990; y Führer, 2000).

Por último, pero no menos importante, las coníferas representan el hábitat de una parte considerable de la flora y fauna que deben sostenerse para la conservación de la biodiversidad además, estabilizan el clima, participan en la captación de agua, carbono y ciclo de nutrientes (Führer, 2000).

En México han existido desde hace millones de años, según Flores *et al.*, (1971, citado por Rzedowski, 1978) el conjunto de estos bosques ocupa cerca del 15 % del territorio del país y más de 9/10 de esta superficie corresponde a los de *Pinus* o de *Pinus-Quercus*, les siguen en importancia, en cuanto a la extensión, los bosques de *Juniperus* y los de *Abies*, siendo los últimos de distribución muy restringida y localizada.

## Bosque de *Abies*

Los árboles del género *Abies*, son conocidos también como oyameles, abetos o pinabetes. Son árboles corpulentos, siempre verdes, resinosos, aromáticos, con las ramas extendidas y más cortas hacia la cima, por lo que el follaje ofrece forma piramidal. Ramillas en cruz cubiertas de hojas lineares, agudas. Conos masculinos reunidos en el extremo de las ramas, miden unos dos centímetros y son de color violáceo; escamas de contorno triangular con dos sacos polínicos en su cara interna; abren transversalmente. Los conos femeninos son erguidos, de color violáceo; hojas carpelares con dos óvulos basales. Cono de consistencia leñosa, de color violáceo oscuro, muy resinoso, mide entre 10 y 16 centímetros de largo, de forma ovalada; al madurar, las escamas se desprenden y dejan escapar las semillas, éstas son aladas y se desarrollan por partes bajo cada escama. Además se desarrollan en lugares montañosos y elevados (Sánchez, 1979; Hernández, 1985 y Niembro, 1990).

Los bosques de *Abies* (Figura 1), sobresalen entre el conjunto de las comunidades vegetales dominadas por coníferas. Tal hecho se debe principalmente a las particulares condiciones en que se desarrollan, como son la altitud la cual se encuentra entre los 2400 hasta los 3600 nsnm. Sobre laderas o cañadas pronunciadas a una temperatura media anual entre los 7 y 15 °C y suelos jóvenes o poco desarrollados, de cuya existencia son indicadores. Destacan así mismo por su majestuosidad y belleza (Madrigal, 1967; Manzanilla, 1976; Rzedowski, 1978; y Sánchez, 1979).



Figura 1. Bosque de *Abies*, en el Parque Nacional "Izta-popo"

Según Madrigal (1967) y Rzedowski (1978) los bosques mexicanos de *Abies* tienen su origen en la biota que arribó por la parte norte, en épocas en que el clima favoreció su expansión y migración. Cabe destacar que las especies autóctonas de México como *Abies religiosa*, *Abies guatemalensis* (que se extiende hasta Guatemala y Honduras) y *Abies concolor* (que llega hasta USA y Canadá) tienen diferencias significativas con respecto a las especies de Canadá y Rusia, estas diferencias se palpan en cuanto al clima, ya que a diferencia de las especies norteamericanas, donde durante gran parte del año la vida vegetal se mantiene latente por las bajas temperaturas y la nieve, en México el bosque de *Abies* no interrumpe sus actividades fotosintéticas, de absorción y transpiración.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Distribución de *Abies* en México

La distribución geográfica de los *Abies* en México es en extremo dispersa y localizada, se le encuentra en los estados de Morelos, Estado de México, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz, Jalisco, Michoacán, Guerrero y el Distrito Federal (Madrigal, 1967; Rzedowski, 1978; Hernández, 1985 y Niembro, 1990).

En la zona norte de México, se presentan en la parte más elevada de la Sierra de Juárez, de la Sierra de San Felipe y en la región del Cerro Zempoaltépetl. En la Sierra Madre Occidental existen en Durango y en algunas localidades de Chihuahua. En el sur en Chiapas se les cita en la zona del Tacaná, cerca de San Cristóbal de las Casas y también en los alrededores de Tapalapa y Coapilla. En otras partes del país los bosques de *Abies* son escasos y restringidos. Como en Nuevo León y Tamaulipas. (Rzedowski, 1978; Hernández, 1985; y Niembro, 1990).

En la mayor parte de los casos, la comunidad se presenta en forma de manchones aislados, muchas veces restringidos a una ladera o una cañada. Las áreas continuas de mayor extensión se presentan en las serranías que circundan el valle de México y les siguen en importancia las correspondientes a otras montañas sobresalientes del eje neovolcánico transversal, como por ejemplo, el Pico de Orizaba, el Cofre de Perote, el Nevado de Toluca, el Tancitaro, el Nevado de Colima y algunas otras más. En la Sierra Madre del Sur los manchones de mayor importancia se conocen de la zona del Cerro Teotepec, en Guerrero, y del área al sur de Miahuatlán, Oaxaca (Rzedowski, 1978).

Los bosques de *Abies* se encuentran entre los más ricos, por lo que a la micoflora y fauna asociada concierne, en cuanto a la extensión total que ocupa en México esta comunidad vegetal, se le atribuye al bosque boreal una área correspondiente a 0.5 % de la superficie de la república, pero tal cifra es exagerada y parece estar más cerca de la realidad la estimación de Flores *et al.*, (1975, citado por Rzedowski, 1978) que es de 0.16 %.

## Principales productos y utilización de los *Abies*

Su principal producto es la madera, la cual se utiliza para leña, aserrín, construcciones rurales y urbanas, así como para fabricar pulpa para papel. El fuste de los árboles jóvenes presenta gran cantidad de vejigas llenas de trementina, la cual recibe el nombre de aceite de palo o trementina de oyamel. Esta sustancia es muy apreciada en la industria de barnices y pinturas, como agente aromatizante de jabones, desinfectantes, desodorantes, detergentes y perfumes. La trementina se utiliza como bálsamo, para fines, medicinales. En algunos lugares, sus ramas se usan como motivo ornamental en ceremonias religiosas (Niembro, 1990).

La madera, por ser ligera y relativamente blanda, no es recomendable cuando se requiere de madera dura y fuerte, pero su carencia de olor y su peso ligero la hacen apropiada para la fabricación de empaques para alimentos. Es susceptible de usarse también en la obtención de tablillas de persianas, marcos y techos interiores; también en la fabricación de postes para líneas de transmisión y cercas (Hernández, 1985).

***Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham.**

Este tipo de vegetación esta prácticamente confinada a sitios de alta montaña. Rzedowski (1978), lo sitúa entre los 2400 y 3600 metros de altitud, pues entre estas cotas se localiza cuando menos el 95 % de la superficie que ocupa (Figura 2).

Los bosques de *Abies religiosa*, generalmente están constituidos por cinco estratos, 1) Rasante, dominado por musgos, 2) Herbáceo, el más diverso, 3) Arbustivo, fundamentalmente compuestas de los géneros *Senecio* y *Baccharis*, 4) Arbóreo inferior, constituido por árboles de hoja ancha y el 5) Arbóreo dominante, compuesto fundamentalmente por *Abies religiosa* y, en ocasiones, con algunos individuos del género *Pinus*.

Un bosque no perturbado de oyamel se presenta con arbolado denso, cuya penumbra limita el crecimiento de los arbustos y el estrato herbáceo es muy limitado. Sin embargo, lo más común es que debido a disturbios o a lo abrupto del terreno, la cantidad de luz en el interior es mayor y el sotobosque se presenta con mejor desarrollo y mayor diversidad (Madrigal, 1967; Manzanilla, 1976 y Rzedowski, 1978).



Figura 2. Bosque de *Abies religiosa*, de izquierda a derecha valle de los enamorado y peña del cuervo "El Chico", cascada el encanto, "Izta-Popo"

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Geología y clima de *Abies religiosa*

Madrigal (1967) y Manzanilla (1976) afirma que los substratos geológicos del bosque de *Abies religiosa* son variados pero predominan los de origen volcánico, sobre todo en andesitas y basalto. En la Sierra Madre Oriental y en el Macizo Central de Chiapas se desarrolla a menudo sobre calizas; en el poniente y en el sur del país los hay también sobre granitos y sobre rocas metamórficas (Rzedowski, 1978).

Los bosques de *Abies religiosa* están confinados a laderas de cerros, protegidos de los vientos fuertes y de la insolación intensa, y requieren de un clima donde la humedad sea elevada, con una precipitación media anual superior a los 1000 mm., distribuida en 100 o más días con lluvia apreciable. Ordinariamente el número de meses secos no es mayor de cuatro y se presentan de diciembre a marzo y una temperatura promedio de 11 a 16 °C (Ángeles, 1998).

La lluvia es muy frecuente, sin embargo también se presenta granizo, rocío e incluso nieve. El rocío se presenta más frecuentemente en los meses de septiembre, octubre y noviembre. La fórmula climática para estos bosques es C(E)W (Ángeles, 1998).

## Nutrición vegetal

La nutrición vegetal es una rama de la fisiología vegetal y estudia tales necesidades. Las plantas en condiciones favorables pueden utilizar y transformar la el CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en compuestos orgánicos que serán su fuente de energía. También pueden sintetizar aminoácidos y vitaminas que necesitan, utilizando nutrientes inorgánicos extraídos de su entorno (Raven *et al.*, 1992 y Fuentes, 1999).

Los elementos esenciales que se cree necesitan todas las angiospermas y gimnospermas son 13: si a estos unimos al O, H y C (provenientes del O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>) se tiene un total de 16 elementos. Son dos los criterios principales por los que un elemento puede considerarse esencial o no esencial para cualquier vegetal: En primer lugar, un elemento es esencial si el vegetal no puede cumplir su ciclo de vida (formar semillas) en ausencia de tal elemento. En segundo lugar, un elemento es esencial si forma parte de cualquier molécula o constituyente de la planta que en si mismo es esencial para ésta (magnesio en la clorofila). Cualquiera de estos criterios es suficiente para determinar que el elemento es esencial (Salisbury y Ross 1994).

Estos elementos esenciales son divididos en dos grupos con base a la cantidad requerida por las plantas: a) los macronutrientes, necesarios en grandes cantidades (> 100 ppm) los principales son carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), Nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

y los micronutrientes, que son requeridos en pequeñas cantidades (< 100 ppm) los cuales son hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) (Rodríguez, 1982; y Ramírez, 1999).

La forma principal en la que los elementos son incorporados a la planta es la siguiente: N ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ), P ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), K ( $\text{K}^+$ ), Ca ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Mg ( $\text{Mg}^{2+}$ ), S ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), Fe ( $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$ ), Mn ( $\text{Mn}^{2+}$ ), B ( $\text{BO}_3^-$  y  $\text{B}_2\text{O}_4^{2-}$ ), Zn ( $\text{Zn}^{2+}$ ), Cu ( $\text{Cu}^{2+}$ ), Mo ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) y Cl ( $\text{Cl}^-$ ).

Los nutrientes son absorbidos en la planta, por tres mecanismos. Intercepción: cuando los cationes intercambiables del suelo son absorbidos por la raíz mediante un intercambio directo, con los cationes absorbidos en ella (intercambio por contacto), donde se debe considerar que la concentración de cationes sobre la superficie de los coloides es mayor a la solución libre. Flujo de masas: los elementos son transportados hacia la en función de los gradientes de presión (absorción de agua) y en función del radio o diámetro de los poros del suelo (capilares), y Difusión: en este fenómeno son importantes los gradientes de concentración que se originan por que la planta continuamente está absorbiendo nutrientes y depende de la velocidad en la que se difunden los iones y el estado acuoso de los medios (Ramírez, 1999)

### **Funciones de los nutrientes**

Los elementos esenciales cumplen diversas funciones indispensables en la biología de las plantas. por ejemplo: El nitrógeno es componente de los aminoácidos, proteínas, nucleótidos, ácidos nucleicos, clorofila y coenzimas. El fósforo forma parte de compuestos fosforados de alta energía (ATP y ADP), ácidos nucleicos, fosfolípidos, coenzimas y participa en la fosforilación de azúcares. El potasio forma enzimas, aminoácidos, abre y cierra los estomas, además participa en la síntesis de proteínas (Tisdale y Nelson, 1988; Cruz *et al.*, 2001).

El calcio forma parte de las paredes celulares y regula actividades enzimáticas. El magnesio es activador de muchas enzimas y forma parte fundamental de la molécula de la clorofila. El azufre forma algunos aminoácidos y proteínas. El hierro forma parte de la nitrogenasa y del citocromo; además, participa en la síntesis de la clorofila. El manganeso es un activador de enzimas y tiene funciones en la estructura de la membrana de los cloroplastos. El boro ayuda en la captación de calcio y en la síntesis de ácidos nucleicos. El zinc es un activador de enzimas y se requiere para la hormona del crecimiento conocida como ácido indolacético. El cobre activa enzimas y proteínas implicadas en los procesos de oxidación y reducción. El molibdeno fija al nitrógeno y participa en la degradación de purinas tales como la adenina y guanina. El cloro participa en la osmosis, en el equilibrio iónico y actúa en reacciones fotosintéticas que producen oxígeno (Rodríguez, 1982; Raven *et al.*, 1992; Salisbury y Ross, 1994; Fuentes, 1999).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Andosoles

La palabra Ando, es derivado del japonés Anshokudo, el cuál es un término descriptivo de uso común que significa oscuro (an), color (shoku) y (do) suelo. Smith (1979) introdujo el empleo del término Andisol. El argumento para ello fue que la vocal de unión "o" esta supuestamente restringida a elementos formativos del idioma griego, y en el caso del término andosol, se está mezclando el idioma japonés con el griego (Pérez *et al.*, 2002).

Los suelos derivados de cenizas volcánicas y piedras pómez, poseen propiedades distintivas que no tienen los suelos derivados de otro tipo de material parental, aun bajo las mismas condiciones climáticas y de vegetación. Los nombres de Andosoles y Andisoles, en la clasificación de la FAO 1974 y Soil Taxonomy 1975, según Cruz (1994), se han usado para aquellos suelos con baja densidad aparente ( $< 0.85 \text{ g cm}^{-3}$ ) y un complejo de intercambio dominado por material amorfo de aluminio, silicio y humus o una matriz dominada por material vítrico.

Los andosoles se han definido como suelos minerales que presentan un horizonte A de diagnóstico de color entre pardo oscuro y negro, con un espesor promedio de 30 cm, de estructura migajón fina o granular con un contenido de materia orgánica de cerca del 8 % en promedio y niveles superiores al 30 % en los miembros más oscuros del grupo. Las toxicidades por aluminio son raras, la fijación de fosfatos y la retención de agua se eleva comparativamente con otros suelos de similar textura (Cruz, 1994 ; Pérez *et al.*, 2002).

Este horizonte puede calificar como epipedon hístico, melánico, mólico, úmbrico u ócrico. Algunos miembros del grupo tienen distintos horizontes B con más arcilla que los horizontes A, pero el miembro más joven es esencialmente un suelo AC. En el caso de presentar horizonte B, éste puede ser cámbico, plácico, duripán o fragipán, no pueden presentar un horizonte argílico, nátrico, espódico u óxico.

Éstos suelos se presentan en climas de húmedos a perhúmedos con temperaturas variadas desde mesotérmico frío a tropical, son importantes las condiciones de humedad, puesto que en climas muy secos los materiales volcánicos no dan origen a andosoles. En condiciones naturales presentan vegetación variada dependiendo del clima donde se desarrollaron, puede ser de bosque templado húmedo e incluso de selva tropical (Pérez *et al.*, 2002).

## Formación de andosoles

Son suelos jóvenes formados a partir del periodo Holoceno hasta el pleistoceno tardío. El principal proceso de formación es la hidrólisis que intemperiza la ceniza; otro proceso es la humificación parcial de la materia orgánica y la formación del complejo estable con alofano.

TESIS CON  
FECHA DE ORIGEN



Estos suelos se localizan desde el ártico hasta los trópicos, pero su desarrollo es más rápido en condiciones de humedad (Duchaufour, 1978; FitzPatrick, 1985).

FitzPatrick (1985), señala que la formación de Andosoles es un proceso muy rápido, resultante de la gran área superficial del material parental. Una parte importante de este proceso es la hidrólisis de la ceniza volcánica, la cual se intemperiza inicialmente a Palagonita amarilla, parda o anaranjada. Se piensa que la Palagonita es un aluminosilicato amorfo que contiene calcio, magnesio y potasio pero cambia con rapidez a Alofano. Después de la hidrólisis se forman también óxidos amorfos, "minerales de rango corto" y minerales microcristalinos de hierro, aluminio y silicio que están distribuidos en el suelo con bastante uniformidad.

El otro proceso importante es la humificación parcial de la materia orgánica, la cuál forma un complejo estable con el "aluminio y hierro activos" y con el Alofano y minerales semejantes. Esta definición implica que no todos los suelos derivados de materiales piroclásticos vítricos son Andosoles (Wada, 1985).

### **Propiedades físicas y químicas de los andosoles**

En general los andosoles presentan densidad aparente baja, alta capacidad de retención de agua, elevado contenido de vidrio volcánico en las fracciones gruesas, elevado contenido de minerales aluminio y ferro-silicatos de rango corto en la fracción coloidal, concentración elevada de aluminio y hierro activos, altos porcentajes de materia orgánica en el epipedon, formación de complejos organominerales entre el humus y el Alofano o minerales semejantes. La fracción coloidal presenta una baja carga eléctrica superficial permanente y una alta carga eléctrica superficial dependiente del pH o variable. El pH medido en solución de NaF 1N es de 9.2 o mayor en los diferentes horizontes. Capacidad para fijar o retener grandes cantidades de fosfatos (Duchaufour, 1978; FitzPatrick, 1985; Cruz, 1994; Honorato, 2002; Pérez *et al.*, 2002).

### **Andosoles en México**

Aguilera (1969, citado por Pérez *et al.*, 2002) reporta que las regiones con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales ígneos en México, cubren aproximadamente una cuarta parte de los 1'963,000 km<sup>2</sup> de la superficie total del país, muchos de estos suelos son considerados en la actualidad como andosoles. La FAO (1976) estimó a los andosoles como una de las unidades de suelo dominantes en la República Mexicana, puesto que ocupan junto con Kastanozems, Litosoles (actualmente denominados Leptosoles) y Luvisoles el 62 % de su superficie.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Por otra parte, Ortiz (1981, citado por Pérez *et al.*, 2002) considera que dentro de las diez unidades de suelos dominantes en nuestro país, los andosoles vítricos ocupan el décimo lugar con una superficie equivalente al 3.6 % de la superficie nacional.

En México, la mayor parte de los suelos de origen volcánico se localizan a lo largo del Eje Neovolcánico. Todos los volcanes que pertenecen a este eje han depositado a lo largo de los siglos, materiales basálticos magmáticos, extrusivos, clásticos, riolíticos y de otras formas complejas, a partir de los cuales se han generado los actuales suelos. Otra región del país en la cual existen suelos de origen volcánico, se ubica en los límites de los estados de Chiapas y Tabasco (Honorato, 2000).

### **Propiedades de los suelos forestales**

El suelo es un cuerpo natural, tridimensional, trifásico que ocupa un lugar en el espacio; con características únicas, producto de la transformación del materia parental, a través de procesos destructivos y de síntesis provocados por una determinada combinación de factores ambientales.

Las propiedades físicas del suelo son aquellas que se relacionan con su estructura, que son utilizadas en su descripción o determinadas en el laboratorio y que equivalen a su arquitectura. Estas propiedades son la textura, la porosidad, el peso (densidad real y aparente), color y temperatura (Lal, 1999; Singer y Munss, 1999 y Honorato, 2000).

Las propiedades químicas del suelo son aquellas que se refieren a la dinámica del suelo y su efecto en el desarrollo vegetal, reposan en la fracción coloidal, entre estas están la capacidad de intercambio (cationes y aniones), elementos disponibles, pH, materia orgánica y salinidad (Tamhane, 1979; Brown, 1987; y Buckman y Brady, 1991).

Los suelos forestales se diferencian de los demás suelos, en condiciones muy específicas que sólo ellos poseen, como son la protección de una cubierta forestal. Por esta razón, su capa superficial proporciona un microclima y una diversidad de microorganismos únicos; se llevan acabo en ellos procesos dinámicos como los ciclos de nutrimentos (Führer, 2000).

La formación de ácidos orgánicos a partir de residuos en descomposición y la subsiguiente lixiviación de las bases, constituyen un carácter distintivo a estos suelos (Pritchett, 1991).

## Incendios forestales

El fuego es un fenómeno físico-químico que sucede cuando se aplica calor a un combustible, en presencia de oxígeno, provocando un aumento en la temperatura y desprendimiento de gases, que se combinan con el oxígeno del aire, proporcionando energía (Jiménez, 1999).

Un incendio forestal es el fuego que se extiende y se propaga sin control sobre el piso forestal, afectando la flora y la fauna que éste sustenta, así como el combustible depositado en el suelo (Spurr y Barnes, 1982; Pritchett, 1991).

Los factores que regulan el comportamiento de los incendios forestales son diversos, entre ellos se encuentran, el tipo de combustible (hierbas, frutos, hojas, troncos, ramas, raíces etc.), La topografía del terreno (en la cual están la pendiente), la exposición, el viento y la humedad (Everett *et al.* 2000; Lloret y Gerard, 2001).

Las partes de un incendio forestal son tres: a) forma circular; característica en terrenos planos, en presencia de combustibles homogéneos, sin presencia de viento, b) forma irregular, que se manifiesta en sitios con pendiente pronunciada, combustibles dispersos y heterogéneos y en presencia de vientos variables, c) forma elíptica, se presenta sobre terrenos planos, con viento moderado hacia una sola dirección. Las partes que conforman un incendio son : Cola, flanco derecho, flanco izquierdo, bordes, dedos o lengua, frente, focos secundarios y entrante o bolsa (Figura 3).

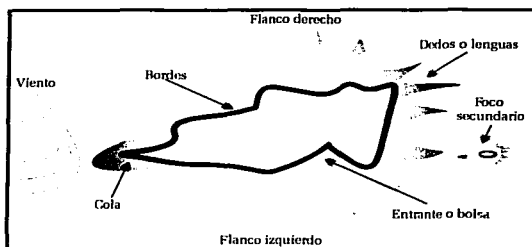


Figura 3. Partes de un incendio forestal (Tomado y modificado de Jiménez, 1999).

Los incendios forestales son tan antiguos como los bosques mismos. Los incendios naturales sin reprimir, originados por las fuerzas naturales como son los rayos y los volcanes ejercieron una profunda influencia sobre los tipos de vegetación del mundo mucho antes de que el ser humano apareciera sobre la tierra (Figura 4). Es probable que todos los bosques, con excepción de aquellos que están cubiertos perpetuamente cubiertos por la nieve, hayan ardido en alguna ocasión. Los incendios y sus secuelas han desempeñado una función determinante para mantener la diversidad de las especies, y para conformar la composición y estructura de los bosques de la tierra durante miles de años (Spurr y Barnes, 1982; Pritchett, 1991; Waldrop y Brose, 1999).

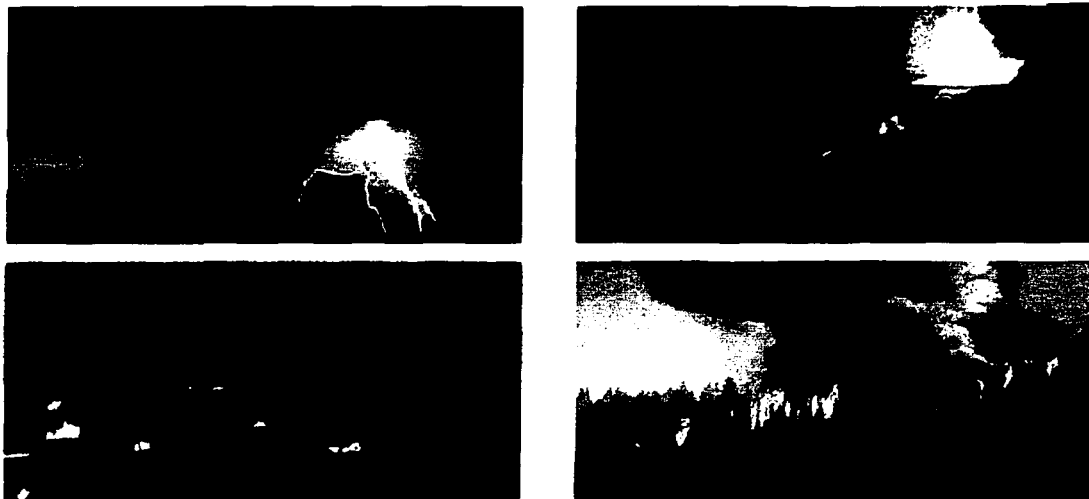


Figura 4. Relámpagos y erupciones volcánicas, fueron las principales causas de los incendios forestales, hace millones de años, sobre la faz de la tierra (fotografías tomadas de National Geographic).

Varias comunidades vegetales dependen directamente del fuego para su supervivencia, puesto que regula varios procesos y funciones; también determina en gran medida la composición florística, la morfología y el amplio rango adaptativo en muchas especies (Jiménez, 1999; y Flannigan *et al.*, 2000).

Vázquez y Moreno (2001) afirman que los incendios sobre las comunidades forestales favorecen la dinámica de la vegetación, contribuyendo a la formación de diversos hábitats y nichos ecológicos.

Según MacCarthy *et al.*, (1999) la perturbación de los bosques a través de los incendios son un factor muy importante en estos ecosistemas, a lo largo de su historia, influyendo en procesos como captación de agua, ciclo de nutrientes, flujos de energía y regeneración.

Los efectos del fuego en un ecosistema dado, dependen del régimen de éste, que puede ser caracterizado por el tipo de incendio y la estación en la que ocurre. La intensidad del fuego puede afectar directamente la persistencia de las especies vegetales, así como su productividad (Spurry Barnes, 1982; Conard e Ivanova, 1997 y Gould *et al.*, 2002).

Begon *et al.*, (1998) ha señalado que los incendios forestales favorecen la regeneración de los bosques de coníferas, sin embargo no se ha mencionado que tipo de incendio y de qué intensidad es el que más favorece dicha regeneración.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Causas y clases de incendios

En los depósitos de carbón del periodo Carbonífero que se remonta a 400 millones de años, y en los depósitos terciarios de carbón marrón, se han encontrado evidencias de incendios naturales que se han manifestado en forma de carbón de leña, denominado fusain. Los relámpagos fueron la causa primaria de estos incendios, antes de la aparición de los seres humanos (Spurr y Barnes, 1982; Scott *et al.*, 2000).

Hoy en día se estima que los relámpagos provocan cerca de 50000 incendios en áreas silvestres en todo el mundo cada año; esto presenta menos del 1 % de los 182 millones de descargas estimadas que ocurren anualmente en el bosque y las tierras de pastoreo de todo el mundo. Una simple tormenta eléctrica puede comenzar pequeños incendios cuando las condiciones climáticas y del suelo son propicias para la ignición producida por los relámpagos (Conard e Ivanova, 1997; MacCarthy *et al.*, 1999; Flannigan *et al.*, 2000; Lloret y Gerard, 2001).

La intensidad del incendio depende del combustible, la topografía, las influencias meteorológicas y la estación del año en el que ocurre. El tipo de incendio puede variar por el área afectada y puede dar lugar a un nuevo tipo de incendio, las comunidades de plantas se ven afectadas por la severidad del incendio, ya que al afectar al suelo, el incendio puede causar impactos directos sobre la raíz de la planta, tejidos reproductores, banco de semillas y poblaciones microbianas (Spurr y Barnes, 1982).

De manera general, los incendios forestales pueden agruparse en: incendios naturales, incendios planeados (que se llevan a cabo para destruir el bosque y realizar operaciones agrícolas y de pastoreo) y, finalmente, los incendios prescritos, que se utilizan en el manejo de los ecosistemas naturales (Waldrop y Brose, 1999).

A su vez, es posible determinar tres clases de incendios naturales, de acuerdo al nivel en el cual se desarrollan: incendios subterráneos, incendios superficiales e incendios de copa o corona (Pritchett, 1991; Jiménez, 1999; Waldrop y Brose, 1999).

**Incendios subterráneos:** quemar profundamente las capas orgánicas del suelo (Figura 5). Normalmente las capas orgánicas se encuentran demasiado húmedas como para que se incendien; sin embargo los incendios se presentan después de sequías prolongadas. Los incendios subterráneos pueden mantenerse durante periodos muy prolongados, algunos durante varios meses. Aunque durante todo el tiempo no se encuentren muy activos, los puntos calientes queman, sin llama, los tocones, las raíces de los árboles y las capas profundas de turba; sólo se extinguen cuando alcanzan la capa fríatica o después de un periodo prolongado de precipitación, aunque algunos sobreviven al invierno y reaparecen, como incendios superficiales, la primavera siguiente (Spurr y Barnes, 1982; Harold, 1982 y Jiménez, 1999).

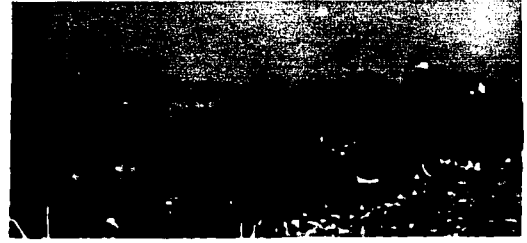
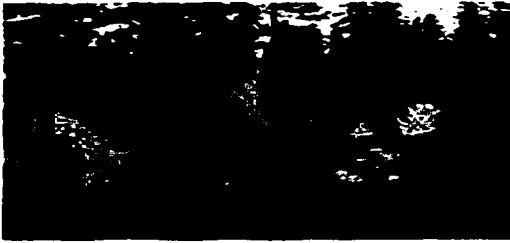


Figura 5. Incendio subterráneo, considerado el más perjudicial de los incendios forestales, consume toda la materia orgánica del primer horizonte del suelo, la combustión se lleva en condiciones anaeróbicas, si es capaz de salir a la superficie, puede convertirse en incendio superficial.

**Incendios superficiales:** son el tipo más común de incendio, extendiéndose sobre el piso forestal, consumiendo el mantillo y el humus, matando las plantas herbáceas y arbustos, afectando las bases de los árboles (Figura 6). Cuanto mayor sea la cantidad de materia acumulada en la superficie, mayor será la mortalidad de los arbustos. Este tipo de incendio alcanza una altura de hasta 3 metros, deteriora la regeneración y la reforestación (Spurr y Barnes, 1982; Carrillo y García, 1999; Waldrop y Brose, 1999).



Figura 6. Incendio superficial, quema el fuste de los árboles a una altura variable, si el viento le es favorable puede transformarse en un incendio de copa.

**Los incendios de copa o corona:** son incendios superficiales, alimentados por la acumulación de materia orgánica y fustigados por vientos (Figura 7). Pueden chamuscar y quemar las coronas de los árboles, generando, de esta manera un incendio de copa. Transmitiéndose de una corona a otra, la mayoría de los árboles que se encuentran en su camino mueren (Waldrop y Brose, 1999).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Figura 7. Incendio de copa, éste incendio puede consumir bosques enteros, son estos incendios los promotores de un importante proceso evolutivo, en los sistemas forestales ya que pueden obligar a muchos animales superiores a migrar con lo que favorecen la colonización de otros nichos y pueden ocasionar en la vegetación una sucesión primaria.

Un incendio de corona se desplaza a través de las coronas de una localidad, quemando de una a otra corona arbórea. Estos incendios se presentan generalmente en localidades densas de coníferas o en localidades de árboles con mucho follaje caducifolio en estado juvenil. Un incendio se extiende hacia arriba cuando hay vientos muy fuertes y sobre terreno escarpado. Los incendios de copa también tienen la capacidad de crear corrientes ascendentes de aire que contribuyen a su propagación.

### **Efecto de los incendios en los suelos forestales**

Los incendios naturales alteran la comunidad forestal: éstos pueden llegar a consumir toda la vegetación que se encuentre sobre la superficie del suelo provocando cambios físicos y químicos. Los suelos de turbera, y otros de tipo orgánico, pueden quedar virtualmente destruidos (Spurr y Barnes, 1982).

Los incendios son capaces de provocar en el suelo reducción de la transpiración, una menor infiltración de agua y un mayor escurrimiento; por ende, generan problemas de erosión, sobre todo en terrenos con pendiente marcada. Además exponen al suelo a la radiación solar directa como resultado de la remoción del sotobosque. A sí mismo con temperaturas de 500 a 1000 °C, se logra afectar la estructura cristalina de las partículas del suelo (Spurr y Barnes, 1982; Harold y Hocker, 1984; Pritchett, 1991; Kettering y Bigham, 2000; Scott *et al.*, 2000).

Sin embargo, no todos los efectos son destructivos. Durante el paso del fuego cambian los parámetros fisicoquímicos del suelo como resultado de la entrada directa de calor. Se elevan los valores de pH, N, Ca, Mg, K, Na y materia orgánica. La magnitud de este impacto se confina a la superficie del suelo (Harold y Hocker, 1984).

Algunos de los efectos de los incendios forestales sobre las propiedades físicas del suelo son los siguientes: Kettering y Bigham (2000), estudiaron los efectos que el fuego provocó al suelo de un bosque en Sumatra, a temperaturas inferiores a los 600 °C sobre la cubierta forestal, con el fin de averiguar la relación que existe entre el color y la fertilidad del suelo. Los resultados de laboratorio mostraron que a mayor temperatura los cambios en el color del suelo son dependientes, volviéndose más oscuros a los primeros cinco centímetros de profundidad. El fuego indujo la formación de agregados que tenían colores ligeramente más rojos que los anteriores.

Temperatura, esta depende del material combustible que se incinere, además de otros factores como la pendiente, exposición y viento; las cenizas al depositarse en el suelo, por su color oscuro, absorben mayor cantidad de energía solar por lo que la temperatura del suelo aumenta en estos lugares afectados por incendios (Jiménez, 1999; Waldrop y Brose 1999).

La porosidad, infiltración y aireación son aspectos que se relacionan íntimamente. Estos sufren modificaciones, ya que la cantidad de materia orgánica condiciona una menor densidad aparente, puesto que la materia orgánica permite una mayor agregación y más captación (Spurr y Barnes, 1982; Harold y Hocker, 1984; Pritchett, 1991).

Los incendios más severos pueden alterar características fundamentales del suelo, como la textura, estructura y mineralogía. En la estructura, los efectos del fuego son marcados en la fracción mineral, ya que provoca cambios irreversibles en la estructura de las arcillas; temperaturas entre los 100 y 200 °C liberan el agua de las partículas arcillosas esmectita e illita; a 500 °C, ambos grupos de arcillas, así como las caolinitas, pierden el agua derivada de los iones hidroxilo que son parte de la estructura cristalina de los minerales arcillosos. Esa pérdida de agua, altera permanentemente la estructura de las arcillas, como las propiedades de contracción y expansión (Kettering y Bigham, 2000 y Moritsuka *et al.*, 2001).

El efecto de los incendios forestales sobre las propiedades químicas del suelo son los siguientes: el pH se incrementa, debido a que el incendio provoca la liberación calcio y magnesio. A nivel de elementos, el nitrógeno se evapora en un incendio severo y, después del incendio, se pierde más nitrógeno por percolación, del agua hacia las capas interiores del suelo (Buckman y Brady, 1991; Jiménez, 1999; y Dick *et al.*, 2000).

Pero Choromanska y Deluca (2001) investigaron los efectos del fuego prescrito en un bosque de *Pinus ponderosa* en Montana, encontrando que el fuego prescrito aumenta las concentraciones de N en el suelo un 33 %, durante los primeros dos años, posteriormente la concentración de N, va disminuyendo paulatinamente, posiblemente por la actividad microbiana y la subsiguiente mineralización y aprovechamiento por las plantas. Los elementos esenciales P, K, Ca, Mg y la capacidad de intercambio catiónico se incrementan después del incendio llegando a perdurar hasta por cinco años después de ocurrido el fenómeno (Choromanska y Deluca, 2001; Moritsuka *et al.*, 2001; Kettering y Bigham, 2000).



## Regeneración de los bosques

Las modificaciones naturales tienen un profundo efecto sobre el establecimiento y desarrollo del bosque, abriendo espacios que pueden ser ocupados por otras especies vegetales. La composición de la mayoría de las masas forestales están influenciadas fuertemente por éstas. La frecuencia con la que ocurren caracterizan una región y se ligan con otros factores como el clima, suelo, flora y fauna (Begon *et al.*, 1998).

Los incendios, vientos y tormentas son algunos de estos fenómenos, tienen un comportamiento específico y requieren de ciertas condiciones para su aparición. Los incendios producen la dinámica más importante ya que muchas especies se han adaptado al ciclo del fuego, en un periodo relativamente corto de entre 50 y 200 años, que dependen de la región y de la especie (Bergeron y Harvey, 1997; García, 2000; Asselin *et al.*, 2001; Mimbrera y Medina, 2001).

En la actividad forestal, el fuego es uno de los principales agentes modificadores del medio, cuando el bosque se encuentra establecido, la ocurrencia de un incendio provoca un cambio que interrumpe y altera drásticamente el desarrollo de la masa arbolada ya existente, sobre todo, cuando las especies no son dependientes del fuego (Spurr y Barnes, 1982; y Pritchett, 1991).

Grime, (1982, citado por Mimbrera y Medina, 2001) sostiene que las plantas tienen estrategias para adaptarse; éstas se dan durante dos etapas diferentes de su ciclo de vida: la fase establecida de madurez y la fase regenerativa de inmadurez. Cada una de ellas varía en duración y mecanismos, dependiendo del tipo de planta o población. La fase regenerativa consta de una serie de etapas como el desprendimiento de la semillas, dispersión, vida latente, germinación y establecimiento de la plántula. La fase de madurez se caracteriza por tener una variedad de estrategias interrelacionadas, que incluye funciones como la obtención de nutrientes, el mantenimiento, reemplazo y crecimiento de raíces y brotes, supervivencia ante las restricciones, los daños y la producción de semillas.

Al ocurrir un incendio forestal se liberan grandes cantidades de nutrimentos, favoreciendo el crecimiento de las plántulas; los estudios referentes a los efectos sobre la regeneración natural han sido desarrollados por muchos investigadores, al estudiar los efectos del fuego sobre la regeneración natural, el fuego no sólo ayuda a poblar nuevas áreas, sino que también ayudan a mantener saludable al bosque, ya que los niveles de nutrimentos acumulados por el incendio no desaparecen sino hasta después de cinco años (García, 1985; Alriksson y Eriksson, 1998; Begon *et al.* 1998; Marafa y Chau, 1999 y Dick *et al.* 2000).

La mayoría de los estudios del bosque consideran actualmente que la interacción entre especies forestales usualmente resulta en ventaja o dominancia de una sobre otra, incluso causándole la muerte (Dick *et al.*, 2000).

Esta interacción es nombrada competencia, que a diferencia del mutualismo, no involucra una dependencia entre las especies, sino que pueden ser un impedimento para el desarrollo de otras. La competencia y no el mutualismo, se considera actualmente como el principal patrón de interacción entre las especies arbóreas, las cuales por su versatilidad poseen estrategias de adaptación que les permiten sobrevivir en un amplio rango de condiciones físicas y biológicas (Begon *et al.*, 1998; y Dick *et al.*, 2000).

La competencia es la interacción entre plantas vecinas por recursos vitales: luz, nutrientes, agua o espacio. Durante las primeras etapas del proceso de colonización por la vegetación de un hábitat fértil perturbado, ocurren interacciones competitivas entre los brotes de las plantas que intentan establecerse (Begon *et al.*, 1998; Nyland, 1998; García, 2000 y Martínez, 2001).

La regeneración, entonces, es un proceso natural que influye y afecta la vegetación, la composición y estructura del bosque, en el presente y el pasado. La influencia de los incendios forestales han afectado a estos ecosistemas a través de interrumpir o terminar con los ciclos biológicos de muchas especies, si los incendios se repiten regularmente en un bosque a intervalos de tiempo pequeños (50-100 años), ejercen una presión selectiva entre aquellas especies que tengan ventajas sobre otras, en sus mecanismos de defensa o estrategias de supervivencia; por esta razón, los incendios forestales son capaces de promover una sucesión (Bergeron y Harvey, 1997; Begon *et al.*, 1998 y Flannigan *et al.*, 2000).

Everett *et al.*, (2000). al estudiar los bosques de *Pinus ponderosa*, afectados por incendios en Washintong. Afirma que la ocurrencia de incendios favorece un aumento significativo en la densidad de árboles y provoca cambios en la composición de la misma especie.

Por otra parte, la caracterización de los incendios forestales en un área, deben servir como un punto de referencia importante para los cambios potenciales en los espacios vacíos de vegetación, ya que los incendios promueven la renovación de los bosques y son una forma sanitaria de la naturaleza para mantener saludables a los bosques; la proporción de cambio en la vegetación del bosque define la dinámica del paisaje, en la que las especies actuales existen (Corona *et al.*, 1998; Bergeron y Harvey, 1997; Lloret y Gerard, 2001).

De esta manera, la modificación temporal de un bosque por un incendio, sea cualquiera la magnitud de éste, requerirá una comprensión explícita de la relación cuantitativa entre la probabilidad de incendio y la edad del bosque, así pueden los bosques aumentar su velocidad de regeneración y recuperación, aunque está puede variar con el tipo de bosque (Chao *et al.*, 1997; Nyland, 1998; y Asselin *et al.*, 2001).

## Regeneración de *Abies religiosa*

Las comunidades de *Abies religiosa* alcanzan generalmente su edad reproductiva entre los 21 y 25 años, generando producción de semillas cada dos años, entre los meses de diciembre a marzo, logrando hasta un 45 % de germinación para el valle de México (Madrigal, 1967).

*Abies religiosa* es una especie monoica, en la cual los órganos femeninos y masculinos aparecen al mismo tiempo que las yemas vegetativas, desde diciembre; los primeros continúan su desarrollo para alcanzar su madurez en los meses de marzo y abril, que es cuando ocurre la polinización. Se desprenden los amentos masculinos, los cuales se encuentran prácticamente en todo el árbol, en las ramillas laterales. Las inflorescencias femeninas se encuentran principalmente en la parte superior y maduran muy rápido. A partir del mes de noviembre, del mismo año de la fecundación, ya poseen semillas capaces de germinar; y entre diciembre del mismo año y enero del siguiente se diseminan, desintegrándose los conos (Madrigal, 1967).

Madrigal (1967), menciona que a la fase clímax de *Abies religiosa*, le sucede una fase de gramíneas; posteriormente una etapa arbustiva, entre las que destacan *Baccharis*, *Juniperus*, *Senecio*, *Quercus*, *Arbutus*, o *Arctostaphylos*. A continuación se presenta un bosque de encino, le sucede un bosque de pino o de *Alnus* y, por último, se vuelve el bosque de *Abies religiosa*.

Por otra parte Manzanilla (1976), hace notar que en zonas de regeneración de *Abies religiosa* es frecuente que se asocie a *Festuca*, y considera que la dinámica que presentan estos bosques es la siguiente: primero el bosque es destruido por incendios, posteriormente se favorece el establecimiento de especies de especies que requieren luz y, finalmente, *Abies religiosa* gana la capa superior y se hace dominante. Además, señala que *Abies religiosa* es una especie agresiva e incluso no necesita una protección especial para su desarrollo, como sería la presencia de un dosel superior o de un bosque pionero.

González (1985), evaluó la regeneración de *Abies religiosa* bajo tres condiciones de dosel y tres tratamientos de suelo (remoción, quema e incorporación y testigo). En cada caso de estas condiciones realizó siembra y depositó semillas. Encontró que a mayor apertura de dosel las semillas germinan más rápidamente, pero ocurre mayor mortandad de plántulas, mientras que en el dosel cerrado y testigo la germinación, así como sobrevivencia y establecimiento de plántulas, son mayores. Por lo que concluye que la regeneración de *Abies religiosa* es mejor en condiciones de dosel cerrado.

Román (2000), estudio la relación entre tamaño, viabilidad y fotosensibilidad con la posible formación de banco de semillas de *Abies religiosa*, en el parque "Cumbres del Ajusco", encontrando que las semillas no son fotoblásticas y por tanto no forman banco de semillas y, en caso de que formaran, banco de semillas, este sería transitorio y se formaría solo con semillas grandes.

Además los desmontes y la tala constituyen los mecanismos más importantes mediante los cuales afecta el hombre al bosque de *Abies religiosa*. Los primeros se realizan fundamentalmente con el propósito de utilizar el terreno para fines agrícolas y han hecho disminuir significativamente las extensiones forestales. En muchas zonas densamente pobladas, lo único que se ha respetado son las laderas demasiado abruptas para la agricultura (SARH, 1992).

López (1993) y Álvarez *et al.* (1998) señalan que los bosques de *Abies religiosa* que circundan los alrededores de la ciudad de México, se encuentran en franca decadencia o enfermos; basándose en los estudios que realizaron, según ellos, la principal causa de éstos es la contaminación.

## OBJETIVO GENERAL

Comparar las propiedades físicas y químicas de del suelo en tres zonas postincendio, en un bosque de *Abies religiosa*, en el Parque Nacional "El Chico" Hidalgo, afectado por diferentes tipos de incendio

### Objetivos particulares:

1. Determinar las propiedades físicas del suelo en cada zona de incendio (textura, densidad real, densidad aparente, porosidad, color y conductividad eléctrica).
2. Determinar las propiedades químicas del suelo en cada zona de estudio (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y la capacidad de intercambio catiónico).
3. Valorar la concentración de nutrimentos (N, P, K, Ca, Mg), en muestras de plántulas de *Abies religiosa* de cada zona.
4. Establecer la relación estadística, si es que existe, entre la regeneración y las propiedades físicas y químicas que los incendios hayan provocado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

El Parque Nacional "El Chico" forma parte de la sierra de Pachuca, presenta una superficie escarpada con altitudes de 2300 a 3000 msnm. Además, cuenta con una serie de características que le confiere una singularidad especial. Estas son la presencia de bosque de *Abies religiosa* (oyamel), que es el tipo de vegetación dominante en el parque y cubre la mayor parte del terreno; los llanos o valles que presentan una carpeta verde durante casi todo el año; las numerosas peñas que sobresalen de la vegetación alcanzando, algunas de ellas, las mayores altitudes de la zona; y el pueblo de Mineral del Chico, localizado en la parte baja del parque, a unos 2350 msnm (Martínez, 1994).

Localización geográfica y política. En cuanto a su localización política, el parque pertenece al estado de Hidalgo, ubicándose al suroeste del estado, muy próximo a la ciudad de Pachuca. Se encuentra bajo las jurisdicciones municipales de Mineral del Chico (en su mayor parte), de Pachuca y Real del Monte. El parque colinda al noreste con el pueblo de El Puente, en la parte norte con el ejido de San José Zoquital, al noroeste con los ejidos de Carboneras, al suroeste con la comunidad La Estanzuela, al sur con la presa Jaramillo y el pueblo El Cerezo, y al sureste con el ejido Pueblo Nuevo. Aunque esta región es bastante accidentada, tiene una excelente posición geográfica al encontrarse muy próxima de la ciudad de Pachuca y de la ciudad de México. Se localiza geográficamente entre los meridianos de coordenadas  $98^{\circ} 41' 47''$  y  $98^{\circ} 45' 31''$  oeste, y entre los paralelos  $20^{\circ} 10' 05''$  y  $20^{\circ} 13' 25''$  de latitud norte (con base en INEGI).

Dentro del área se encuentran numerosas formaciones geológicas de relieves características; entre los que sobresalen la Peña del Cuervo, que tiene una altura de 2770 msnm. Existen otras peñas que sobresalen dentro del parque como son la Peña de los Enamorados, Las Goteras, Las Monjas etc. Los suelos Andosoles, pertenecientes a los siguientes grupos: Húmicos, Ócricos y Víttricos. Estos grupos son derivados de cenizas volcánicas, en su mayoría húmicos por su alto contenido de materia orgánica.

La hidrología del parque queda restringida dentro de la cuenca hidrográfica del río Panuco, dentro del área se forman varios manantiales, todos estos son efluentes del río El Milagro y van a desembocar a el río Amajac. El clima es, de acuerdo con el sistema de Köppen, C(m)(W)b(i)gW : templado húmedo, con temperatura media anual entre los  $12^{\circ}$  y  $18^{\circ}$  C, la temperatura del mes más cálido de  $22^{\circ}$  C, con lluvias en verano e influencia de monzón. Tiene una vegetación representada principalmente por bosque de *Abies*, bosque de *Pinus*, bosque de *Cupressus*, bosque de *Quercus* y matorral de *Juniperus monticola* (SARH, 1992).

En el parque, la zona de estudio se ubica en el kilómetro 13 de la carretera Pachuca-Mineral del Chico. La selección de las zonas de muestreo fueron aquellas afectadas por incendios en diferentes intensidades, dentro del bosque de *Abies religiosa*, con lo que se distinguieron tres diferentes sitios de acuerdo con los daños que el incendio provocó al bosque.

Estos sitios se denominaron bosque afectado por incendio superficial (el fuego consumió todo el estrato herbáceo y quemo el fuste de los árboles a una altura aproximada de dos metros), bosque afectado por incendio de copa moderado (el fuego consumió todo el estrato herbáceo, daño severamente el fuste de los árboles, alcanzo una altura de veinte metros aproximadamente, solo sobrevivieron los árboles más altos de 35-40 metros), bosque afectado por incendio de copa severo (el fuego consumió el estrato herbáceo y arbóreo, ningún árbol sobrevivió). También seleccionamos al bosque no afectado por incendio, el cual tomamos como testigo (Ver mapa, Ubicación geográfica de la zona de estudio y sitios de muestreo en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo).

### **Selección de los sitios y toma de muestras**

Los sitios de muestreo se definieron con base en aquellos sitios que mantenían la máxima relación posible con el bosque original de *Abies religiosa* no afectado por incendio, para esto se realizó una caracterización ecológica en cada sitio, tomando un área de 100 metros cuadrados, dentro de ésta se recolectaron las especies vegetales encontradas en cada estrato vegetal, éstos estratos fueron arbóreo, arbustivo, herbáceo y rasante, las plantas recolectadas fueron colocadas dentro de bolsas de papel, las cuales se rotularon con un marcador, anotando el sitio al que pertenecían, también se midió la cobertura de cada estrato vegetal. Todo esto con el fin de realizar un perfil de vegetación en cada sitio de estudio.

Por otra parte, se llevo acabo un perfil de suelo, con una pala marca Truper y una cinta métrica, marca Stanley. Con el fin de saber el tipo de suelo en cada uno de los sitios afectados por incendio, así como en el sitio testigo.

En cada sitio de estudio se midió la pendiente y la exposición con una brújula con clicímetro marca LUFT. Con un GPS 38 FCC ID IHP-13001 marca GARMIN, se marcaron puntos de ubicación al rededor de cada uno de los sitios de estudio, esto para obtener la poligonal, dicha poligonal proporcionara el área total en metros cuadrados de los sitios postincendio y del testigo. De ésta manera se obtendrá un mapa georeferenciado.

**La toma de muestras de suelo** consistió en lo siguiente: Dentro de cada sitio de estudio se fijaron cuatro puntos de zig-zag a una distancia de treinta metros, una vez que los puntos fueron fijados se recolectaron tres submuestras en cada punto, a una distancia de cuatro metros formando un triángulo equilátero, con una pala y cuchara marca Truper, se tomó una muestra de aproximadamente 500 gr de suelo, a una profundidad de 0 a 10 cm y de 11 a 20 cm, nombrándolas capa uno y capa dos respectivamente. Estas se guardaron en bolsas de plástico y se rotularon con un marcador, anotando el sitio y la fecha.

Posteriormente se trasladaron a la FES Zaragoza, al laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal, donde las muestras de cada zona se mezclaron con sus respectivas profundidades, de manera homogénea para obtener una sola muestra compuesta para cada profundidad, después se colocaron sobre papel estraza en cajas de cartón y se dejaron secar a la sombra durante dos semanas.

Una vez secas, se tamizaron con un tamiz, marca OUVESA, con malla de 0.20 mm. Se almacenaron en botes de plástico de 1 kg de capacidad y se rotularon, obteniendo de ésta manera dos botes para cada sitio, dando un total de ocho, listos para el análisis de laboratorio.

**La toma de muestras de planta** consistió en lo siguiente: En cada sitio de estudio se formaron diez cuadrantes de un metro cuadrado al azar, en cada cuadrante se cuantificó el número de plántulas de *Abies religiosa* y su altura, se recolectaron cinco plántulas de cada zona, desde la raíz hasta la parte aérea, posteriormente se colocaron en bolsas de papel encerado se rotularon con un marcador, anotando la fecha y el sitio al que pertenecían.

Posteriormente se trasladaron a la FES Zaragoza, al laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal, una vez en el laboratorio se pesaron en una balanza analítica marca OHAUS y se colocaron en una estufa marca, FELISA a una temperatura de 50 a 60 ° C, el peso se registro diariamente, durante una semana hasta obtener un peso constante.

Una vez obtenido el peso constante, se procedió a la molienda de la plántula en un molino para planta marca, General Electric Motors y se tamizó en un tamiz del número 20, una vez terminada la molienda, las muestras se guardaron en bolsas de papel encerado, se rotularon y se colocaron dentro de un bote de plástico. De esta manera quedaron listas para el análisis de laboratorio.

## ANÁLISIS DE LABORATORIO

### Análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo

#### Textura, por Bouyoucos

Se pesaron 60 g de suelo, se colocaron en un vaso de precipitados de 500 ml de capacidad, se adicionaron 20 ml de  $H_2O_2$  al 30% (de 5 en 5 ml), se agito y posteriormente se colocó en baño maría. Se elimino completamente la materia orgánica con el peroxido, se continuó agitando y calentando hasta secar totalmente el suelo. Una vez seco se dejo enfriar y se pesaron 50 g de suelo, que se colocaron en un vaso de agitador mecánico, se añadieron 5 ml de cada agente dispersante ( $Na_2C_2O_4$  y  $Na_4P_2O_7$ ) y agua destilada a 2/3 del vaso, se agito por 15 minutos y se transfirió el contenido a una probeta de 1 lt. para después aforarla, se agito y se colocó un hidrómetro, se registro la densidad y la temperatura a los 40 segundos y a los 120 minutos. Se realizaron los cálculos, para conocer los porcentajes de arena, limo y arcilla. Se determinó la clase textural con el triángulo de texturas (Palmer y Troeh, 1989).

#### Densidad real

Se peso un picnómetro vacío, posteriormente se colocaron 5 g de suelo seco, se adicionaron 10 ml de agua destilada, se agito lentamente hasta que desaparecieron las burbujas y se dejo reposar por 20 minutos, se aforo completamente con agua, se peso el picnómetro más agua más suelo, por último se peso el picnómetro más agua y se realizaron los cálculos correspondientes (Palmer y Troeh, 1989).

#### Densidad aparente

Se peso una probeta de 10 ml, se agrego suelo seco hasta alcanzar el volumen de 10 ml, para después golpear 10 veces la probeta, luego se agrego suelo hasta alcanzar el volumen de 10 ml, se peso después la probeta más suelo y se realizaron los cálculos correspondientes (Palmer y Troeh, 1989).



## Color

Se coloco suelo seco en una placa de porcelana y se comparó con las tablas Mnsell. Anotar matiz, valor e intensidad (Buckman y Brady, 1991).

## Conductividad eléctrica

Se colocaron 10 g de suelo en un vaso de precipitados de 100 ml, se añadieron 50 ml de agua, se agito la suspensión y se dejo reposar por 24 horas. Se midió la conductividad eléctrica del sobrenadante con un potenciómetro, marca Conductronic S.A modelo 10 y se tomo la temperatura y se aplicó el factor de corrección (SMCS, 1998).

## pH relación 1:2 con H<sub>2</sub>O

Se colocaron 10 g de suelo en un vaso de precipitados de 100 ml, se añadieron 20 ml de agua destilada. Se agito durante un minuto, se dejo reposar por 10 minutos, la operación se repitió dos veces. Una vez agitada perfectamente, a la suspensión, se midió el pH con un potenciómetro marca, Conductronic S.A modelo 10. Previamente calibrado (SMCS, 1998).

## pH relación 1:2 con KCl

Se colocaron 10 g de suelo en un vaso de precipitados de 100 ml, se añadieron 20 ml de KCl 1 N. Se agito durante un minuto, se dejo reposar por 10 minutos, la operación se repitió dos veces. Una vez agitada la perfectamente, a la suspensión se midió el pH con un potenciómetro marca, Conductronic S.A modelo 10. Previamente calibrado (SMCS, 1998).

## Materia orgánica por Walkley y Back

Se pesaron 0.1 g de suelo y se coloco en un matraz erlenmeyer de 500 ml. Se añadieron 5 ml de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, 1 N, se agito y se añadieron 10 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, se agito durante un minuto, se dejo reposar por 30 minutos, se añadieron 100 ml de agua destilada, después se agitó y se dejo enfriar, posteriormente se agregaron 5 ml de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> y 0.1 g de NaF y 15 gotas de difenilamina. Se titulo con FeSO<sub>4</sub>. Se realizaron los cálculos correspondientes (SMCS, 1998).

### Nitrógeno total, por semimicro-kjedahl

Digestión: se pesaron 0.1 g de suelo, se adiciono 4 ml de  $H_2SO_4$  concentrado, se dejo reposar toda la noche, se agrega 1.1 g de mezcla catalizadora y se calentó hasta que el digestado se torno claro. Completada esta etapa, se dejo enfriar y se agrego agua, se transfirió el contenido a la cámara de destilación, en el tubo de salida del aparato de digestión a un matraz erlenmeyer de 125 ml con 10 ml de solución de ácido bórico con indicador, se adicionaron 10 ml de NaOH 10 N. Se conecto al flujo de vapor y se efectúo la destilación, se destilan aproximadamente 50 ml y se titula con  $H_2SO_4$  0.05 N (SMCS, 1998).

### Fósforo extractable, por Bray y Kurtz 1 modificado

Se pesaron 0.5 g de suelo y se colocaron en un matraz erlenmeyer de 50 ml, se adicionaron 25 ml de acetato de amonio, se taparon con plástico y se agitaron por 6 minutos en agitación en agitación recíproca a 180 opm. El extracto se filtro con papel Watman 42. Se tomo una alícuota de 2 ml y se coloco en un tubo de ensayo de 20 ml y se agregaron 5 ml de agua, se adiciono 2 ml de  $(NH_4)_2MoO_7$ , se agrego 1 ml de  $SnCl_2$  y se mezclo, se leyó la intensidad del color en un espectrofotómetro, marca Bauch & Lomb a 660 nm con filtro infrarrojo (SMCS, 1998).

### Cationes intercambiables, por absorción atómica

Se pesaron 5 g de suelo y se colocaron en tubos de centrifuga, se adicionaron 33 ml de  $CH_3COONH_4$  1 N, se taparon con plástico y se agitaron por 10 minutos a 180 opm, en agitador de acción recíproca. Se centrifugo por 10 minutos, el sobrenadante se filtro en un matraz aforado de 100 ml con papel Whatman 2, se repitió el proceso dos veces más y se enraso a 100 ml con  $CH_3COONH_4$ , y se leyó la absorbancia con un espectrofotómetro de absorción atómica, marca Varian AA-1475 para determinar K, Ca, Mg y Na (SMCS, 1998).

TESIS COM  
FALLA DE ORIGEN

## **Análisis nutrimental en plántulas**

### **Nitrógeno, por semimicro-kjedahl modificado para concluir nitratos**

Digestión: Se pesaron 0.1 g de muestra de planta y se colocaron en un matraz microkjedahl, se adicionaron 4 ml de la mezcla de ácido sulfúrico-salicílico, se dejó reposar por 24 horas, posteriormente se agregaron 0.05 g de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ , una vez realizado esto se adiciono 1.1 g de mezcla catalizadora y se procedió a la digestión. Se transfirió el contenido a la cámara de destilación, se colocó en el tubo de salida un matraz erlenmeyer de 125 ml con 10 ml de la solución de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  con indicador. Se adiciono 10 ml de NaOH 10 N, al bulbo de destilación, se conecto al flujo de vapor y se destilo, se obtuvieron 50 ml y se titulo con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.05 N (SMCS, 1998).

### **Fósforo, por digestión de $\text{HNO}_3$ /HCl**

Se pesaron 0.05 g de muestra de planta y se coloco en un matraz microkjendahl de 30 ml, se adiciono 6 ml de mezcla digestora y se llevo a digestión, una vez concluida la digestión se transfiere el digestado a un matraz aforado de 10 ml y se afora con agua desionizada. Se tomo una alícuota de 2 ml y se coloco en un matraz aforado de 50 ml, se adiciono 7.5 ml de reactivo vanádomolibdico, y se aforo con agua, después de 20 minutos se leyó en un espectofotómetro, marca Bausch & Lomb a 470 nm (SMCS, 1998).

### **Nutrientes, por absorción atómica**

Se pesaron 0.05 g de muestra de planta y se colocaron en un matraz microkjedahl de 30 ml, se adiciono 6 ml de mezcla digestora y se llevo a digestión, una vez concluida la digestión se transfirió el digestado a un matraz aforado de 10 ml y se aforo con agua desionizada. Para Mg y Ca, se efectuaron diluciones adecuadas, se tomo una alícuota de 2 ml y se aforo a 50 ml de esta primera dilución se tomo una alícuota de 3 ml y se aforo a 25 ml, Mg se leyó en la primera dilución y Ca en la segunda dilución, el Na y el K se cuantificaron en la primera dilución, con un espectofotómetro de absorción atómica, marca Varian AA-1475 (SMCS, 1998).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Análisis estadístico de los datos

Los datos que se obtuvieron de suelo y planta (cuatro repeticiones para cada uno), se trataron con el programa estadístico "Stata 6". Aplicando diagramas de caja para cada parámetro analizado Vs Sitio de incendio (Figura 8).

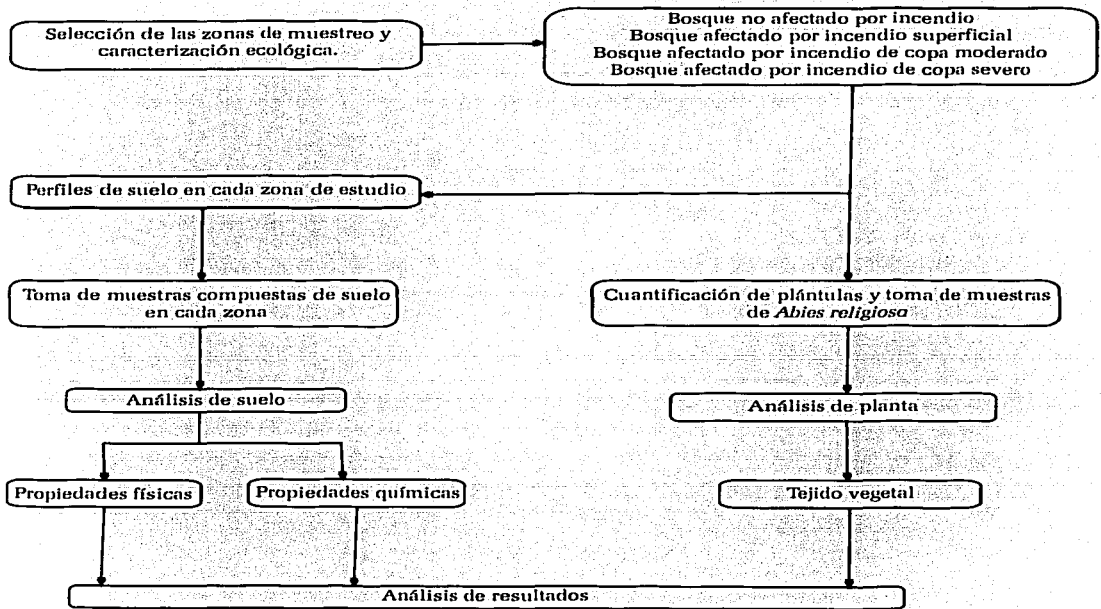


Figura 8. Metodología seguida durante la investigación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## RESULTADOS

### Caracterización ecológica de los sitios de muestreo

#### Bosque no afectado por incendio



Se ubica en el kilómetro 13 de la carretera Pachuca-Mineral del Chico. El relieve es una sierra con topografía de ladera con pendiente de  $10^\circ$  y una exposición Sur-Este, el microrelieve es ondulado, la condición hídrica es húmeda, la vegetación ocupa un 70 %, mientras que la hojarasca un 30% (hojas de oyamel), con un espesor de 3.5 cm. No presenta erosión.

La vegetación es bosque de coníferas, la especie dominante es *Abies religiosa*, puro típico, en condición clímax, el uso es de conservación. La estratificación es vertical, presenta siete estratos vegetales. En el perfil de vegetación (Figura 9), podemos observar el primer estrato arbóreo, éste estrato se compone de árboles con un DAP en el fuste de, 1.70 m, altura de 35 a 40 m y cobertura del 180 %. El segundo estrato arbóreo tiene un DAP de 1.20 m, una altura de 25 m, y una cobertura del 60 %. El tercer estrato arbóreo tiene un DAP de 0.60 m, una altura de 6 m, y una cobertura del 17 %. El cuarto estrato arbóreo cuenta con un DAP de 0.30 m, altura de 3 m y cobertura del 50 %.

El estrato arbustivo presenta dos especies, *Senecio angulifolius*, quien tiene una altura de 3 m, y una cobertura del 19 %, y *Fuchsia microphylla*, que tiene una altura de 3 m, y una cobertura del 16 %, el sexto estrato es el herbáceo, que tiene a las especies *Acaena elongata*, con una altura de 0.50 m y una cobertura del 7 %, y *Stevia serrata* con altura de 0.50 m y cobertura del 2.5 %. Finalmente el estrato rasante con las siguientes especies, *Galium sp.*, *Thuidium delicatulum*.



Figura 9. Perfil de vegetación de bosque no afectado por incendio

## Bosque afectado por incendio superficial



Ubicado en el kilómetro 13 de la carretera Pachuca-Mineral del Chico. El relieve es una sierra con topografía de ladera con pendiente de  $35^\circ$  y una exposición Sur-Este, el microrelieve es accidentado, la condición hídrica es húmeda, la vegetación tiene un 60 %, la hojarasca 10 % con espesor de 2 cm, la composición son hojas de oyamel y ramas, material fino 20 %, rocas 5 %. No presenta erosión.

La vegetación es bosque de coníferas, la especie dominante es *Abies religiosa* puro típico, presenta vegetación secundaria, no se encuentra en clímax, su uso es de conservación, los agentes de disturbio son el fuego. La estratificación es vertical, presenta seis estratos vegetales, tres arbóreos, un arbustivo, un herbáceo y un rasante.

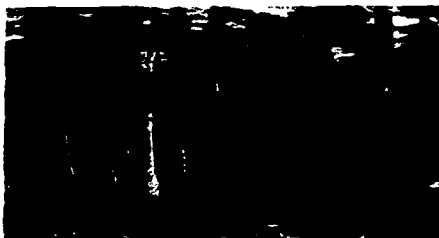
En el perfil de vegetación (Figura 10), se observa el primer estrato arbóreo, con un DAP en el fuste de 0.60 m, con una altura de 45 a 50 m, y una cobertura del 140 %. El segundo estrato arbóreo tiene un DAP de 0.20 m, altura de 25 y cobertura del 80 %. El tercer estrato arbóreo tiene un DAP de 0.20 m, altura de 10 m, y cobertura del 70 %. Los cuatro estratos arbóreos son de *Abies religiosa*.

El estrato arbustivo presenta las especies, *Senecio angulifolius*, con altura de 2 m, y cobertura del 0.8 %, *Eupatorium pazcuarensis*, con altura de 1.8 m y cobertura del 0.9 %, *Eupatorium nervosa*, con altura de 1.5 m y cobertura del 0.2 %, *Quercus laurina*, con altura de 2.5 m y cobertura del 0.07 %, *Quercus castanea*, con altura de 2 m y una cobertura del 0.06 % y *Solanum nigrum*. El estrato herbáceo, tiene las siguientes especies, *Erodium sp.*, *Satureja sp.*, con altura de 0.05 m y cobertura del 0.33 %. El estrato rasante presenta las especies, *Galium sp.*, *Thuidium delicatulum*, y *Sedum sp.*



Figura 10. Perfil de vegetación de incendio superficial

### Bosque afectado por incendio de copa moderado



Ubicación kilómetro 13 de la carretera Pachuca mineral del Chico. El relieve es una sierra con topografía de ladera con pendiente de  $10^\circ$  y una exposición Sur-Este, el microrrelieve es ondulado, la condición hídrica es húmeda, la vegetación ocupa un 90 %, mientras que la hojarasca un 10 %, su composición dominante son hojas de oyamel con espesor de 4 cm. No presenta erosión.

La vegetación es bosque de coníferas, la especie dominante es *Abies religiosa*, no presenta vegetación secundaria, su uso es de conservación, los únicos agentes de disturbio son el fuego. La estratificación es vertical, presenta tres estratos vegetales, un arbóreo, un herbáceo y un rasante.

En el perfil de vegetación, se observa el estrato arbóreo, éste con un DAP en el fuste de, 0.90 m, con altura de 35 a 40 m, y cobertura del 70 %. Presenta individuos muertos pero en pie. El estrato herbáceo, tiene a las especies *Abies religiosa*, con una altura de 0.35 m, y una cobertura del 180 %, *Eryngium monocephalum*, con altura de 0.25 m y cobertura del 1.3 %, *Eupatorium sp.*, con altura de 0.20 m, cobertura de 0.02 %, *Lupinus montanus*, con altura de 0.35 m, y cobertura del 0.11 %, *Eupatorium pazcuarensis*, con 0.35 m de altura y cobertura de 0.05 %, *Fuchsia thymifolia*, con altura de 0.25 m y cobertura del 0.22 %, *Viguiera sp.*, *Salvia lavanduloides*, con altura de 0.30 m, y cobertura del 0.01 % y *Hackelia mexicana*. El estrato rasante lo representan las especies, *Galium sp.*, *Dyssodia sp.*, *Fuchsia thymifolia*, *Thuidum delicatulum*, y *Sedum sp* (Figura 11).

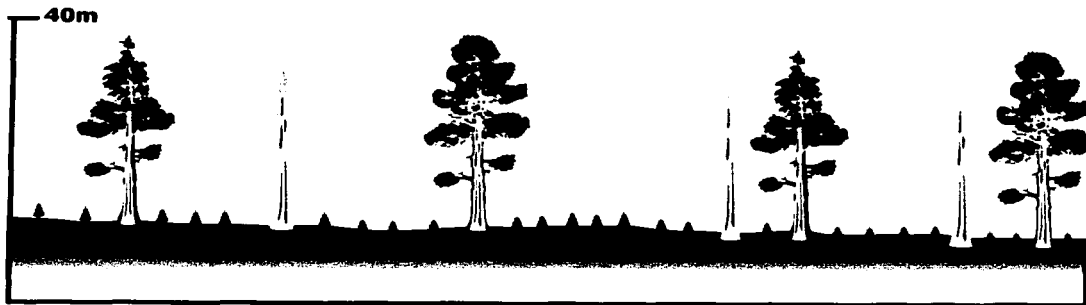


Figura 11. Perfil de vegetación de incendio de copa moderado

### Bosque afectado por incendio de copa severo



Ubicado en el kilómetro 13 de la carretera Pachuca-Mineral del Chico. El relieve es una sierra, con topografía de ladera con pendiente de  $11^{\circ}$  y exposición Sur-Este, el microrrelieve es ondulado, la condición hídrica es seca, la vegetación ocupa un 40 %, no hay hojarasca, un 40 % de material fino, 10 % de gravas y 10 % de rocas.

La vegetación corresponde a bosque de coníferas, la especie dominante fue *Abies religiosa* puro típico, en condición clímax, no presenta vegetación secundaria, el uso es de conservación, los agentes de disturbio son el fuego y la erosión hídrica. La estratificación es vertical, presenta dos estratos vegetales, un herbáceo y un rasante.

En el perfil de vegetación (Figura 12), podemos observar el estrato arbóreo totalmente destruido por el incendio, el único árbol en pie esta vivo y es de la especie *Pseudotsuga menziessi*, éste con un DAP en el fuste de 0.70 m, con altura de 35 a 40 m y cobertura del 5 %.

El estrato herbáceo, tiene las especies *Abies religiosa*, con altura de 0.26 m, y cobertura del 90 %, *Lupinus montanus*, con altura de 0.35 m y cobertura del 0.44 %, *Salvia elegans* con altura de 0.40 m, cobertura del 5 %, *Stevia serrata*, con altura de 0.25 m y cobertura del 0.3%, *Eryngium sp.* y *Rubus sp.*, con altura de 0.20 m y cobertura del 0.02%, *Stevia sp.* Con altura de 0.70 m y cobertura del 0.11 %, *Penstemon sp.*, con altura de 0.15 m y cobertura del 0.02 %, *Solanum nigrum*, con altura de 0.25 m y una cobertura del 0.03 %, *Baccharis conferta*, con altura de 0.15 m y cobertura del 0.02 %. El último estrato es el rasante, con las especies *Senecio roldana* y *Fuchsia thymifolia*.

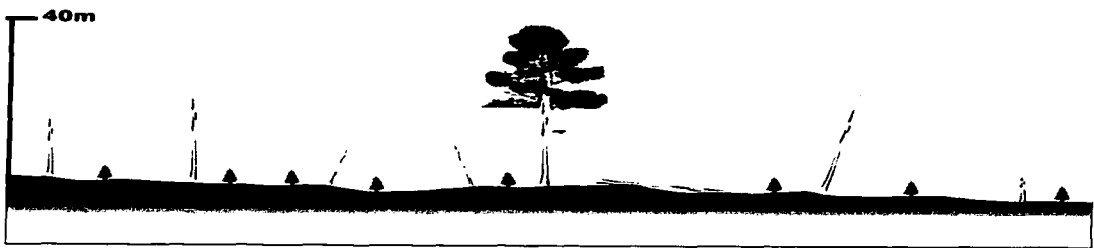


Figura 12. Perfil de vegetación de incendio de copa severo



## Perfiles de suelo

### Bosque no afectado por incendio



Suelo de origen piroclástico, se encuentra a una altura de 3000 msnm. Se establece sobre una ladera con pendiente de 10° y una exposición Sur-Este.

El suelo esta cubierto por bosque de *Abies religiosa*. El perfil presenta los siguientes horizontes: A, rico en materia orgánica (29%), con profundidad de 0 a 30 cm, de color café-oscuro, textura franca arenosa, con estructura granular y un pH ácido (5.6). Un horizonte C de color pardo, a una profundidad de 40 a 70 cm, entre el horizonte A y C se encuentra un horizonte no diferenciado. Por último se observa el material parental de origen en color blanco, compuesto principalmente de arena, a una profundidad de 100 cm.

Clasificación: **Andosol**

### Bosque afectado por incendio superficial



Suelo de origen piroclástico, se encuentra a una altura de 2900 msnm. Se establece sobre una pendiente de 35° y una exposición Sur-Este.

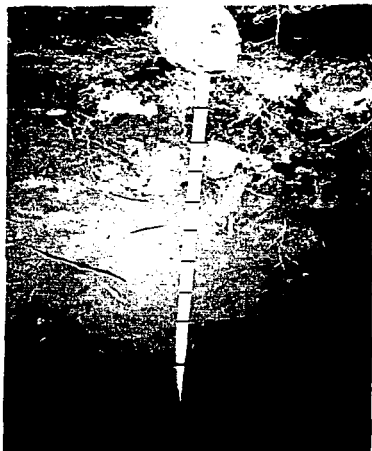
El suelo esta cubierto por bosque de *Abies religiosa*, afectado por un incendio superficial. El perfil presenta un horizonte A rico en materia orgánica (34%), con profundidad de 0 a 40 cm, de color oscuro-pardo, con textura franca arenosa, estructura granular y un pH ligeramente ácido (6).

En los primeros 3 cm del horizonte del suelo se puede apreciar una capa de cenizas, producto del incendio. La profundidad máxima del perfil es de 80 cm.

Clasificación: **Andosol esquelético**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Bosque afectado por incendio de copa moderado



Suelo de origen piroclástico, se encuentra a una altura de 3000 msnm. Se establece sobre una ladera con pendiente de 10° y una exposición Sur-Este.

El suelo esta cubierto por bosque de *Abies religiosa* afectado por un incendio de copa moderado. El perfil presenta los siguientes horizontes: A, rico en materia orgánica (39%), con profundidad de 0 a 30 cm, de color oscuro, textura franca arenosa, con estructura granular y un pH de (6.3). Un horizonte C de color pardo a un aprofundidad de 40 a 90 cm, entre estos horizontes existe un horizonte de transición B no diferenciado todavía. Presenta una capa de cenizas de 4 cm de espesor y una profundidad máxima de 130 cm.

Clasificación: **Andosol**

### Bosque afectado por incendio de copa severo



Suelo de origen piroclástico, se encuentra a una altura de 3000 msnm. Se establece sobre una ladera con pendiente de 11° y una exposición Sur-Este.

El suelo estuvo cubierto por bosque de *Abies religiosa*, afectado por un incendio de copa severo. El perfil presenta un solo horizonte: A, con abundante materia orgánica (41%), con profundidad de 20 cm, de color oscuro, textura franca arenosa, estructura granular y un pH ácido (5). El suelo tiene una capa de cenizas de 4 cm de profundidad producto del incendio.

Clasificación: **Leptosol andico**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Propiedades físicas

Cuadro 1. Propiedades físicas (profundidad de 0 a 10 cm) de los suelos del bosque de *Abies religiosa*, en los sitios de estudio. Cada resultado es el promedio de cuatro repeticiones.

SITIOS	Profundidad ----- cm -----	DR -- g·cm <sup>-3</sup> --	DA	C.E μs·m <sup>-1</sup>	Color En seco	Porosidad	Textura			Clase textural
							Arena	Limo	Arcilla	
							----- % -----			
Bosque no afectado por incendio	0-10	1.9	0.77	0.067	2.5Y 3/2	59.99	60	32	8	Franca arenosa
Bosque afectado por incendio superficial	0-10	1.7	0.76	0.123	2.5Y 3/2	56.63	58	34	8	Franca arenosa
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0-10	1.7	0.70	0.127	2.5Y 3/1	55.52	55	33	12	Franca arenosa
Bosque afectado por incendio de copa severo	0-10	1.4	0.75	0.061	2.5Y 3/2	51.29	59	34	7	Franca arenosa

DR. Densidad real, DA. Densidad aparente, C.E. Conductividad eléctrica.

Cuadro 2. Propiedades físicas (profundidad de 11 a 20 cm) de los suelos del bosque de *Abies religiosa*, en los sitios de estudio.

SITIOS	Profundidad ----- cm -----	DR -- g·cm <sup>-3</sup> --	DA	C.E μs·m <sup>-1</sup>	Color En seco	Porosidad	Textura			Clase textural
							Arena	Limo	Arcilla	
							----- % -----			
Bosque no afectado por incendio	11-20	2.1	0.80	0.038	2.5Y 4/4	63.31	58	34	8	Franca arenosa
Bosque afectado por incendio superficial	11-20	1.8	0.80	0.047	2.5Y 4/4	57.63	57	30	13	Franca arenosa
Bosque afectado por incendio de copa moderado	11-20	1.8	0.79	0.048	2.5Y 4/4	61.44	51	36	13	Franca arenosa
Bosque afectado por incendio de copa severo	11-20	2.0	0.77	0.058	2.5Y 4/4	61.15	65	32	3	Franca arenosa

## Propiedades químicas

Cuadro 3. Propiedades químicas (profundidad de 0 a 10 cm) de los suelos del bosque de *Abies religiosa*, en los sitios de estudio. Cada resultado es el promedio de cuatro repeticiones.

SITIOS	Profundidad ----- cm -----	pH		MO	N	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC
		1:2 H <sub>2</sub> O	1:2 KCl	-- % --	-- % --	ppm	----- Cmol., • kg <sup>-1</sup> -----				
Bosque no afectado por incendio	0-10	5.84	5.05	29.98	0.61	0.69	4.52	2.21	0.14	0.76	7.63
Bosque afectado por incendio superficial	0-10	5.94	5.04	34.84	0.64	0.48	6.36	3.56	0.16	1.24	11.3
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0-10	6.23	5.39	39.36	0.77	2.51	5.03	2.59	0.11	1.57	9.30
Bosque afectado por incendio de copa severo	0-10	5.16	4.42	41.20	0.64	0.27	5.03	2.65	0.14	0.08	8.66

CIC. Capacidad de intercambio catiónico.

Cuadro 4. Propiedades químicas (profundidad de 11 a 20 cm) de los suelos del bosque de *Abies religiosa*, en los sitios de estudio.

SITIOS	Profundidad ----- cm -----	pH		MO	N	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CIC
		1:2 H <sub>2</sub> O	1:2 KCl	-- % --	-- % --	ppm	----- Cmol., • kg <sup>-1</sup> -----				
Bosque no afectado por incendio	11-20	5.42	4.25	15.74	0.42	0.62	5.16	2.15	0.14	0.96	8.43
Bosque afectado por incendio superficial	11-20	5.63	4.53	22.78	0.40	2.02	5.71	2.37	0.14	0.68	8.92
Bosque afectado por incendio de copa moderado	11-20	5.83	4.87	18.92	0.44	1.74	4.84	2.67	0.10	0.90	8.51
Bosque afectado por incendio de copa severo	11-20	4.94	4.08	29.31	0.55	0.69	4.24	1.67	0.18	0.48	6.57

## Resultados de planta

Cuadro 5. Biomasa, altura y densidad de plántulas de *Abies religiosa* en cada sitio de estudio. La muestra que se tomo, para la altura y la biomasa fue de 20 plántulas por cuadrante. Las plántulas tienen la misma edad, cuatro años.


SITIOS	PLÁNTULAS		
	Plántulas • ha <sup>-1</sup>	Altura (cm)	Biomasa <sup>a</sup> (g • planta <sup>-1</sup> )-
<b>Bosque no afectado por incendio</b>	19000	9	0.18
<b>Bosque afectado por incendio superficial</b>	9600	11	0.22
<b>Bosque afectado por incendio de copa moderado</b>	250000	32	1.17
<b>Bosque afectado por incendio de copa severo</b>	15600	26	1.06

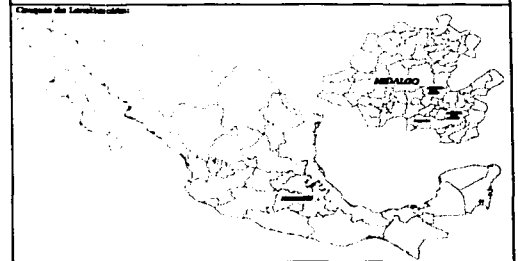
a- Peso seco

Cuadro 6. Concentración de elementos en tejido vegetal de plántulas (promedios).

SITIOS	N	P	K	Ca	Mg	Na	C/N	N/P	Ca/Mg
	-----%-----								
<b>Bosque no afectado por incendio</b>	1.52	0.10	3.3	6.0	0.37	0.04	38	15.2	16.2
<b>Bosque afectado por incendio superficial</b>	1.39	0.07	4.0	6.0	0.13	0.02	57	19.5	46.1
<b>Bosque afectado por incendio de copa moderado</b>	1.62	0.07	3.7	5.0	0.22	0.04	43	23.1	22.7
<b>Bosque afectado por incendio de copa severo</b>	1.34	0.09	3.5	3.0	0.19	0.05	52	14.8	15.7




**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**Facultad de Estudios Superiores Zaragoza**



**3000** Curvas Maestras  
 Curvas Ordinarias  
 Carreteras  
 Ecurrimientos  
 Energía Eléctrica

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

TIPOS DE INCENDIO	TIPOS DE SUELO
Bosque Afectado por incendio de Copa Severo (11,366.0 m <sup>2</sup> )	Leptosol andico
Bosque Afectado por incendio de Copa Moderado (4,396.0 m <sup>2</sup> )	Andosol
Bosque Afectado por incendio Superficial (8,081.5 m <sup>2</sup> )	Andosol esquelético
Bosque No Afectado por incendio (4,487.5 m <sup>2</sup> )	Andosol

INEGI, 1983. Pto. Aéreo. Escala 1:30,000. Clave F14-1281.  
 Contorno de UTM a cada 100 metros. Equidistancia entre curvas de nivel a cada 100 metros.  
 Título de Tesis:  
 Propiedades físicas y químicas de los suelos afectados por incendios, en un Bosque de Abies religiosa (H.B.K.) Schlt et Cham. del Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

Nombre del trabajo:  
**Ubicación geográfica de la zona de estudio y sitios de muestreo en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.**

Ubicación:  
 Parque Nacional El Chico, comprendido entre las jurisdicciones de los Municipios de Mineral del Chico, Pachuca y Real del Monte, en el Estado de Hidalgo.

Escala: **1 : 8,800**      Traducido: **Oswald García Quiroz**



## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Propiedades físicas del suelo

Los resultados de las propiedades físicas del suelo, en cada uno de las muestras, de los sitios afectados por incendio, no muestran variación significativa de éstas propiedades. El color, la densidad real y aparente, la textura y la conductividad eléctrica no presentan ningún cambio, por lo que se considera que la intensidad de los incendios no fue suficiente como para alterarlas Moritsuka *et al.* (2001), por otra parte al realizar el análisis a una muestra compuesta de suelo, se pierde variabilidad al mezclar el suelo y no es posible detectar en la técnica un cambio sustancial si es que lo existe (Alriksson y Eriksson, 1998).

Aunado a este problema, que las técnicas que se emplearon no son tan finas (SCMS, 1998) y habría que realizar pruebas más precisas, por ejemplo en la técnica de textura, y color, McCarty *et al.*, (1999), reporta un cambio significativo en el color de los suelos afectados por incendios, mientras que la técnica de la textura por Bouyoucos para andosoles siempre da por resultado texturas francas y no todos los andosoles son de esta clase textural (Pérez *et al.*, 2002).

## Propiedades químicas del suelo

Con respecto a las propiedades químicas, si se detectaron variaciones en algunas propiedades como el pH, la materia orgánica, el potasio, calcio, magnesio y por consiguiente en la capacidad de intercambio cationico

**pH.** Para el caso del pH con agua, los resultados de las muestras de cada sitio, presentan una tendencia a elevarse, para el caso de el incendio superficial y el incendio de copa moderado, pero tiene una disminución drástica en el incendio de copa severo, esto podría deberse a los incendios, que acumularon materia orgánica y está aporta elementos como el  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  en forma de carbonatos, dando preponderancia a los iones  $\text{OH}^-$ , sobre los  $\text{H}^+$ , en la solución del suelo y bajo tales condiciones el suelo se vuelve alcalino (Buckman y Brady, 1991). Por otro lado las cenizas vegetales tienen un efecto de encalado en el suelo (Salisbury y Ross, 1994).

Pero si esto es cierto, ¿Por qué el pH del incendio de copa severo no se elevó?, si es donde tenemos mayor cantidad de materia orgánica, la respuesta podría deberse al tipo de suelo que tiene esta zona, que es un leptosol y una propiedad fundamental de los andosoles es la profundidad ya que no es mayor de 30 cm, con esta profundidad y la no existencia de cubierta vegetal, se favorece una mayor infiltración de agua de lluvia y por consiguiente la lixiviación de bases, por lo que el pH se vuelve más ácido.

Los resultados de las dos profundidades muestran esta tendencia (Figura 13 y 14), siendo más marcada para el caso del incendio de copa severo, donde la profundidad de 0 a 10 y 11 a 20 cm, revelan la existencia de este proceso de lixiviación pues el valor de pH, se acidifico más. Entonces el tipo de suelo tiene un peso quizás, más importante que los incendios y son los responsables del descenso y aumento de éste parámetro tan importante para las plantas.

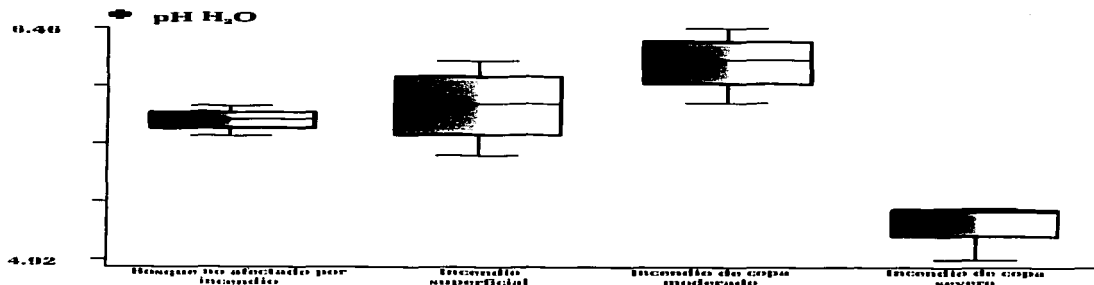


Figura 13. Variaciones del pH a los primeros 0-10 cm de profundidad, en cada uno de los sitios postincendio del Parque Nacional "El Chico".

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



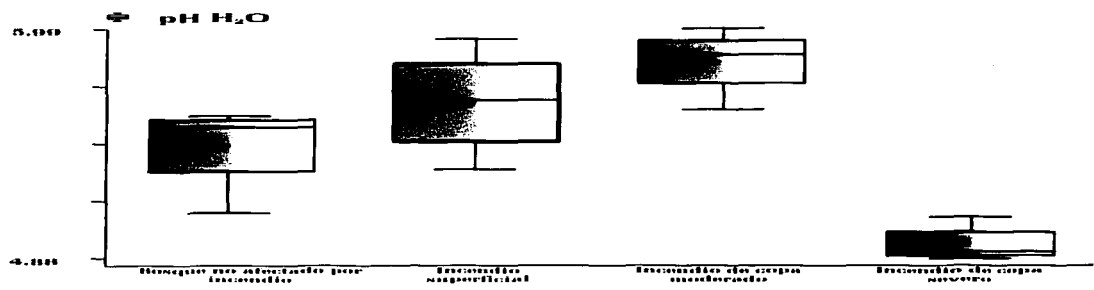


Figura 14. Variaciones del pH a los 11-20 cm de profundidad, en cada una de las zonas postincendio del Parque Nacional "El Chico"

**Materia orgánica.** Otro parámetro que cambio fue la materia orgánica (Figura 15 y 16), este efecto debe atribuirse a los incendios, pues a mayor intensidad de incendio se consume mayor cantidad de hojarasca, herbáceas, fauna microscópica, ramas insectos y árboles (Marafa y Chau, 1999).

La cantidad de materia orgánica aumento en las dos capas de suelo estudiadas de cada sitio, siendo mayor en la primera capa de 0 a 10 cm de profundidad.

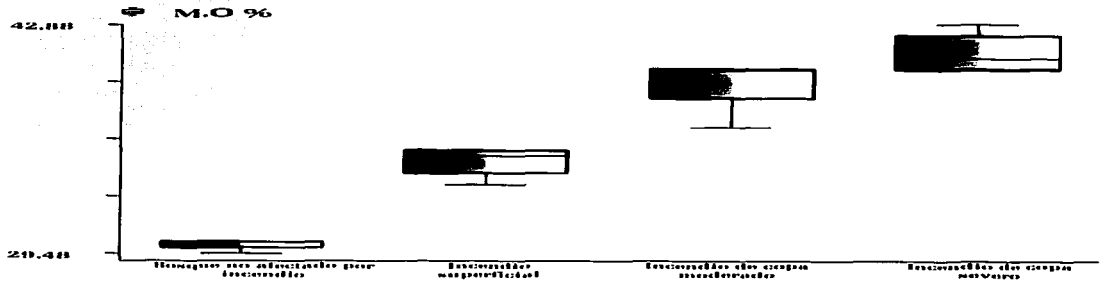


Figura 15. Variaciones de los porcentajes de materia orgánica en los primeros 0-10 cm de profundidad, en cada zona postincendio.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

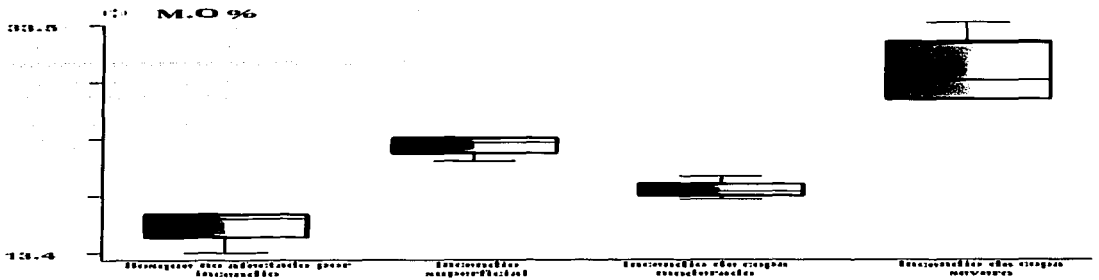


Figura 16. Diagrama de materia orgánica a los 11-20 cm de profundidad

Los otros parámetros en los que se detectaron variaciones, fueron en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y la capacidad de intercambio catiónico, podrían estos cambios haber sido provocados por los incendios pues, ya que estos elementos están estrechamente ligados con la materia orgánica, y al ser está abundante entonces, estos elementos se incorporan al suelo. Además existen reportes de que los incendios forestales incrementan los elementos P, K, Ca y Mg (Choromanska y Deluca, 2001; Moritsuka *et al.* 2001; Kettering y Bigham, 2000).

Sin embargo las diferencias encontradas muestran una disparidad en cada zona estudiada, para el caso del potasio, se incrementa en las muestras de suelo de incendio superficial e incendio de copa moderado, pero disminuyen en el incendio de copa severo, para 0 a 10 cm, mientras que para la profundidad de 11 a 20 cm, se observa lo contrario, existiendo una disminución gradual conforme el fenómeno de los incendios excepto en incendio de copa moderado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Nitrógeno.** Pritchett (1991) reporta que los incendios forestales, son los responsables del descenso de éste elemento en el suelo, ya que al ser consumida por el fuego, la materia orgánica y la cubierta vegetal, el nitrógeno se volatiliza. Aunque Parker *et al.*, (2001), señala lo contrario, pues afirma que la abundante cantidad de material vegetal, incorporada al suelo en forma de ceniza contiene un alto contenido de nitrógeno.

En los sitios afectados por incendio, se encontró un aumento en éste elemento, siendo mayor en bosque afectado por incendio de copa moderado, de acuerdo a lo reportado por Parker *et al.*, (2001). La posible respuesta a ésta tendencia podría ser la cantidad de materia orgánica incorporada al suelo, aunque esto no se cumple para la primera capa de profundidad en el bosque afectado por incendio de copa severo, que es el sitio con mayor cantidad de materia orgánica. Pero sí para la segunda capa de profundidad (Figura 17 y 18).

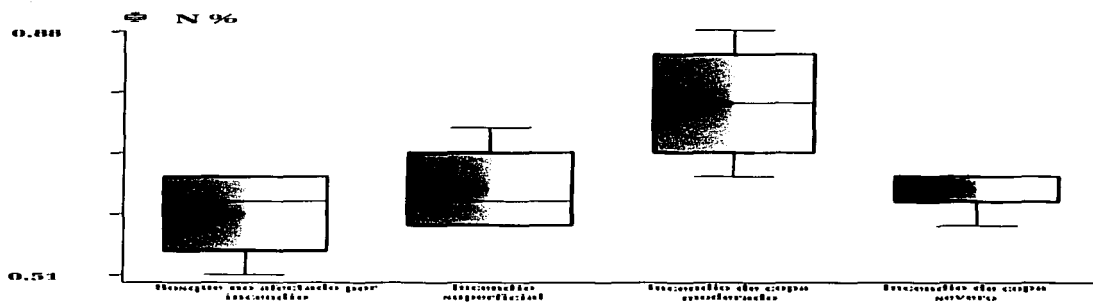


Figura 17. Variaciones del nitrógeno en cada sitio de estudio a profundidad de 0 a 10 cm, en el Parque Nacional "El Chico".

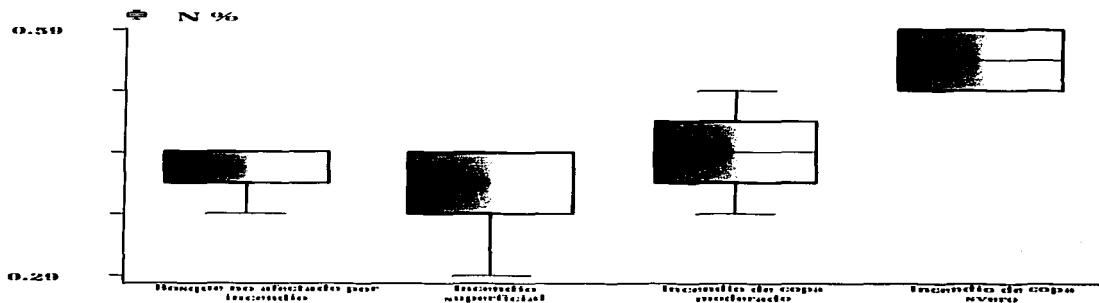


Figura 18. Variaciones del nitrógeno en cada sitio de estudio a profundidad de 11 a 20 cm, en el Parque Nacional "El Chico".

**Fósforo**, para el caso de este elemento las variaciones encontradas en ambas profundidades para cada sitio. No es factible que los incendios forestales, hayan sido los responsables, puesto que el suelo de los sitios de estudio son andosoles y estos suelos tienen un gran capacidad de retención del fósforo, por el alofano (Cruz *et al.*, 2001).

Aunque hay que hacer notar el alto contenido de fósforo en el bosque afectado por incendio de copa moderado (Figura 19 y 20). Por otro lado Choromanska y Deluca (2001), reportan un aumento del fósforo en el suelo, después de los incendios forestales, y que éste aumento es proporcional a la severidad del incendio.

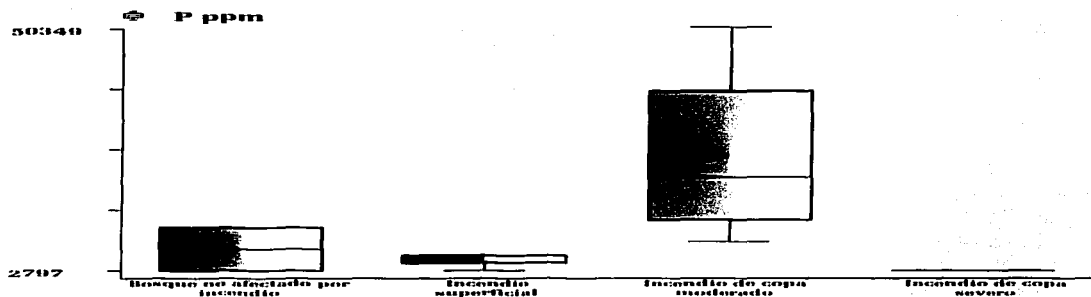


Figura 19. Variaciones del fósforo a la profundidad de 0 a 20 cm, en los sitios postincendio.

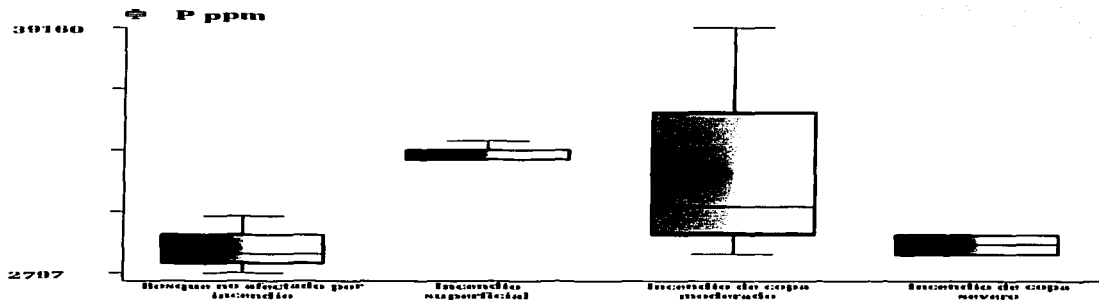


Figura 20. Variaciones del fósforo a la profundidad de 11 a 20 cm, en los sitios postincendio.

**Potasio**, el aumento de este elemento fue proporcional a la intensidad del incendio, en cada sitio de estudio, en la primera capa de profundidad podemos observar (Figura 21), el incremento del potasio en bosque afectado por incendio superficial e incendio de copa moderado, creemos que en el bosque afectado por incendio de copa severo, ocurrió lo mismo pero con el paso del tiempo y los factores climatológicos como la lluvia, aunado al tipo de suelo que existe en el sitio, el cual es leptosol andico, son los responsables del decremento del potasio.

Esto es, la lluvia al caer sobre el suelo del bosque afectado por incendio de copa severo, penetró con mayor rapidez a éste puesto que no tiene una cubierta vegetal, la cual fue eliminada por el fuego y si a esto le sumamos la profundidad del mismo, se llevó una lixiviación del potasio, ésta hipótesis la corrobora la capa dos (Figura 22) donde se aprecia claramente el lavado de este elemento.

Las investigaciones llevadas a cabo por FitzPatrick (1985), demuestran que el potasio es fácilmente lixiviado del suelo, por percolación del agua de lluvia.

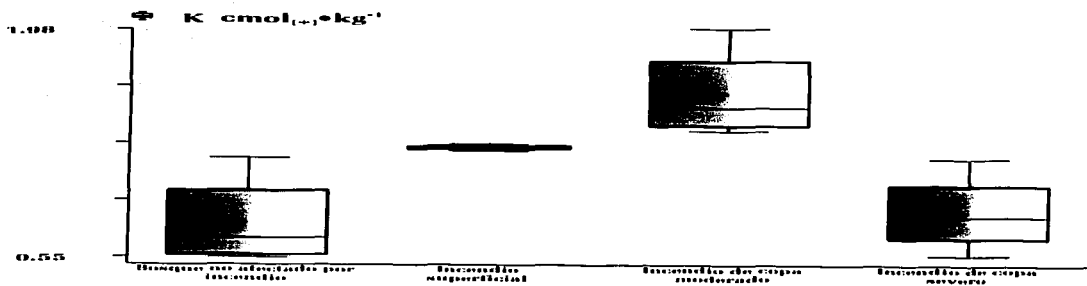


Figura 21. Variación del potasio en los primeros 0 a 10 cm. de profundidad en los sitios postincendio del Parque Nacional "El Chico".

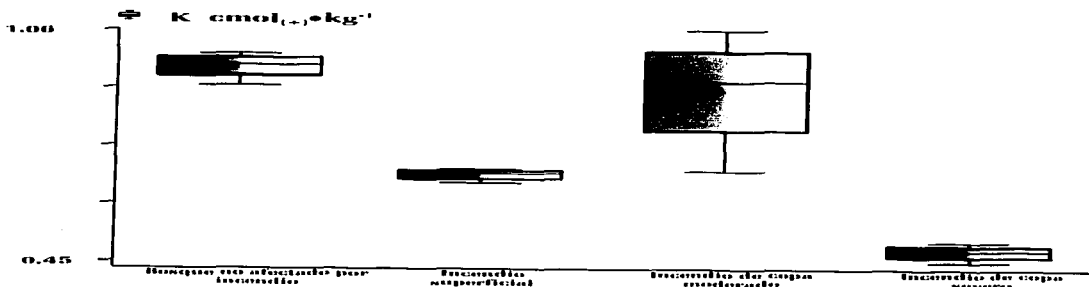


Figura 22. Variación del potasio en los sitios postincendio, del Parque Nacional "El Chico", a profundidad de 11 a 20 cm.

El calcio aumento en los sitios de incendio, siendo mayor en incendio superficial, mientras que en incendio de copa moderado e incendio de copa severo los valores se encuentran en concentraciones iguales, esto para la profundidad de 0 a 10 cm. Mientras que para la profundidad de 11 a 20 cm, se puede observar un decremento de la concentración del elemento, el cual se está lixiviando del suelo (Figura 23 y 24).

Por su naturaleza, el calcio forma bases en el suelo, siendo muy fácilmente lavadas de el por el agua de lluvia (Pritchett, 1991).

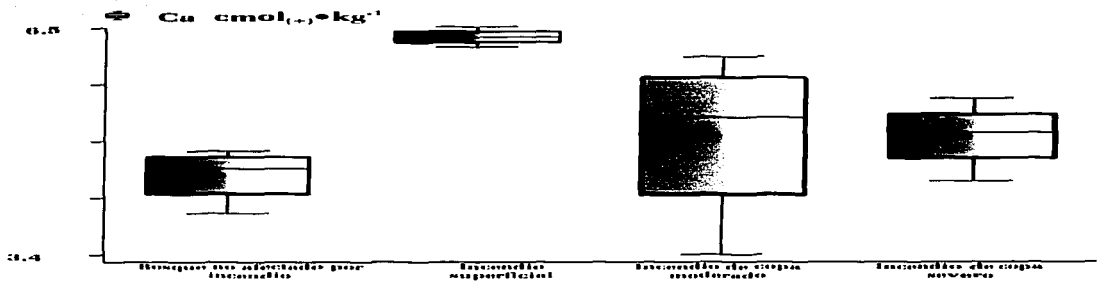


Figura 23. Variaciones del calcio en los primeros 0 a 10 cm de profundidad, en los sitios postincendio del Parque Nacional "El Chico".

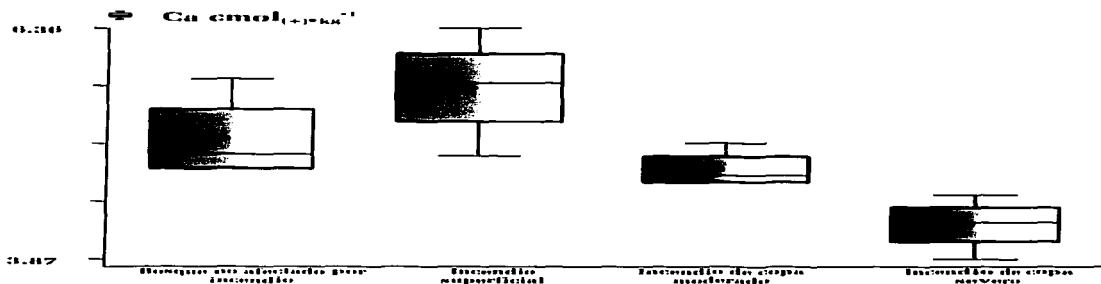


Figura 24. Variaciones del calcio en 11 a 20 cm de profundidad, de los sitios postincendio del Parque Nacional "El Chico".

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El magnesio por su parte tiene la misma tendencia que el calcio en los sitios postincendio, observándose su mayor concentración en incendio superficial y la menor en incendio de copa moderado para la profundidad de 0 a 10 cm, para la profundidad de 11 a 20 cm el magnesio vuelve a presentar su nivel más bajo en incendio de copa severo (Figura 25 y 26).

El magnesio se lava al igual que el calcio, por formar bases en el suelo. Lo que permite la consecuencia lixiviación de éste elemento.

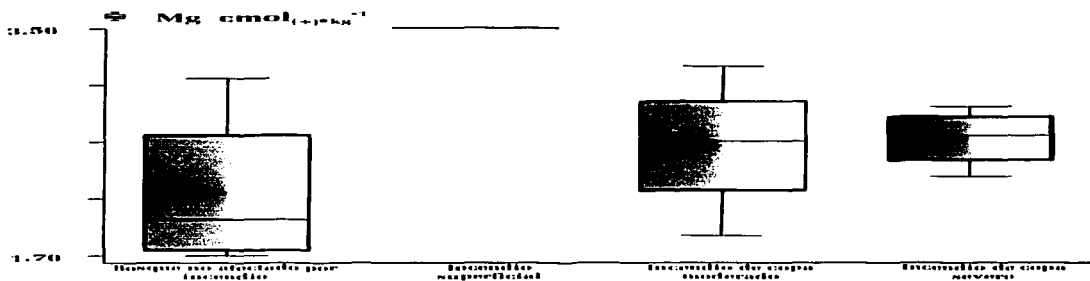


Figura 25. Variaciones del magnesio a profundidad de 0 a 10 cm, en cada sitio de estudio en el Parque Nacional "El Chico".



Figura 26. Variaciones del magnesio a profundidad de 11 a 20 cm, en cada sitio de estudio en el Parque Nacional "El Chico".

La **capacidad de intercambio catiónico** es la suma de los cationes en el suelo, entonces el comportamiento que asume en cada uno de los sitios de estudio, es responsable del contenido de cada uno de los cationes presentes en el suelo (Cepeda, 1991).

De esta manera la máxima concentración de intercambio de cationes, la encontramos en el bosque afectado por incendio superficial, para ambas capas de profundidad (Figura 27 y 28), mientras que la mínima en el bosque afectado por incendio de copa severo, la respuesta a esta variación es la misma que para el Ca y el Mg.

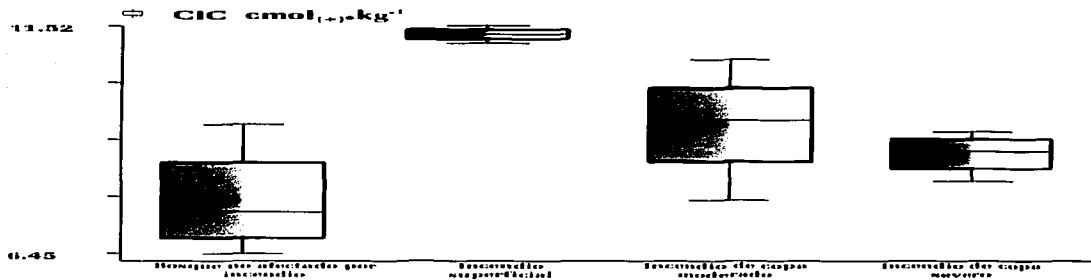


Figura 27. Variaciones de la capacidad de intercambio catiónico de 0 a 10 cm, en los sitios de estudio en el Parque Nacional "El Chico".

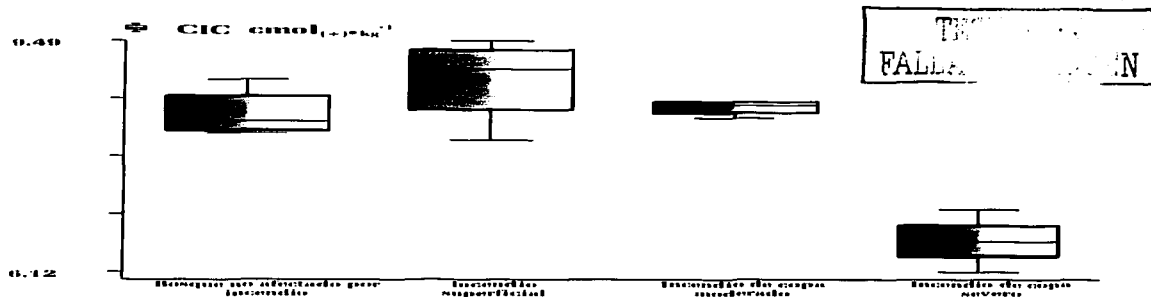


Figura 28. Variaciones de la capacidad de intercambio catiónico de 11 a 20 cm, en los sitios de estudio en el Parque Nacional "El Chico".



## Análisis nutrimental de plántulas

Los resultados de planta, muestran que no se detectaron deficiencias de ningún elemento que se valoró, en el tejido vegetal de las plántulas de *Abies religiosa*, en cada zona de estudio, presentan diferencias en tamaño y en vigor pero no tienen deficiencias nutrimentales, al comparar los resultados con la concentración de elementos en tejido vegetal según Salisbury y Ross (1994).

A pesar de que las plántulas no tienen deficiencias nutrimentales, la concentración de estos elementos, en las plántulas tiene variaciones en cada zona. Por ejemplo el Nitrógeno, es mayor en incendio de copa moderado y descende paulatinamente en bosque no afectado por incendio en incendio superficial, y por último en incendio de copa severo (Figura 29).



Figura 29. Variaciones del nitrógeno en porcentaje, en tejido vegetal de plántulas de *Abies religiosa* en cada sitio postincendio, del Parque Nacional "El Chico".

INSTITUTO  
NACIONAL DE ESTADÍSTICA  
Y CENSO

**Fósforo** para éste elemento se detectaron las mayores concentraciones y variaciones en tejido vegetal, en el bosque afectado por inuandosolesentra de manera abundante en los cendio de copa severo (Figura 30).

El fósforo es un elemento que se encuentra de manera abundante en los andosoles (Honorato, 2000). Esta puede ser una razón del por que las plántulas de los cuatro sitios de estudio no carecen de ésta importante fuente de energía.

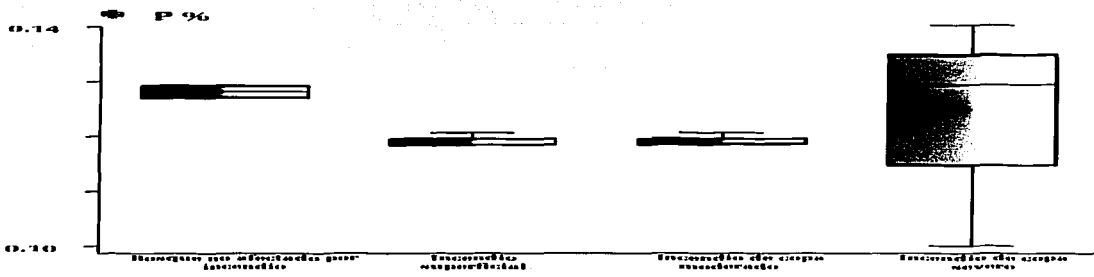


Figura 30. Variaciones del fósforo en tejido vegetal de plántulas de *Abies religiosa*, en cada sitio de estudio, del Parque Nacional "El Chico".

**Potasio**, se encuentra en mayor concentración en los tejidos de plántulas del bosque afectado por incendio superficial, seguido del bosque afectado por incendio de copa moderado y por último el bosque afectado por incendio de copa severo(Figura 31).

El potasio que fue incorporado al suelo, en éste caso por la materia orgánica a causa de los incendios, propicio que las plántulas hayan acumulado éste elemento.

TE. ...  
FALLA DE ORIGEN

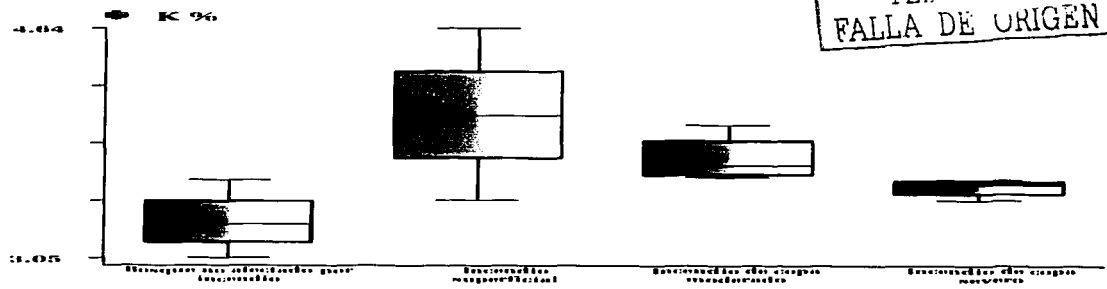


Figura 31. Variaciones del potasio en tejido vegetal de plántulas de *Abies religiosa*, en cada uno de los sitios postincendio, del Parque Nacional "El Chico".

**Calcio.** éste elemento por lo general se encuentra en buena concentración en todos los suelos y esta disponible para las plantas. en los sitios afectados por incendios, se encontró, que en el bosque afectado por incendio de copa superficial las plántulas presentes, tenían una mayor concentración que las plántulas de los otros sitios, siendo menor en el bosque afectado por incendio de copa severo(Figura 32).

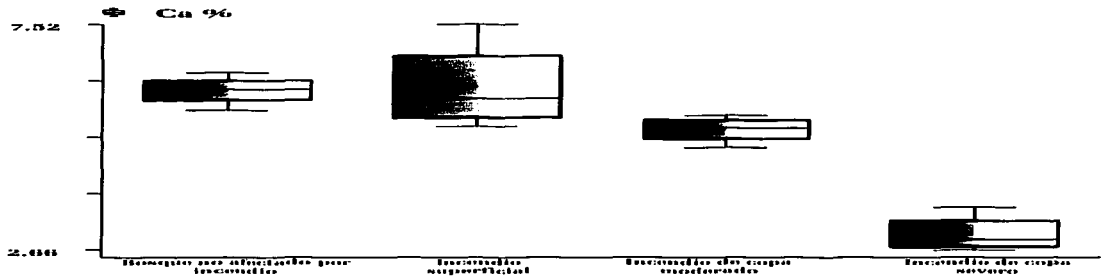


Figura 32. Variaciones del calcio en tejido vegetal de plántulas de *Abies religiosa*, en los sitios de estudio en el Parque Nacional "El Chico".

**Magnesio.** al igual que el calcio ésta presente en los suelos en concentraciones adecuadas para las plantas, en los sitios de estudio, se detectaron las concentraciones más altas en el tejido vegetal de las plántulas del bosque afectado por incendio de copa moderado y los menores en bosque afectado por incendio superficial (Figura 33).

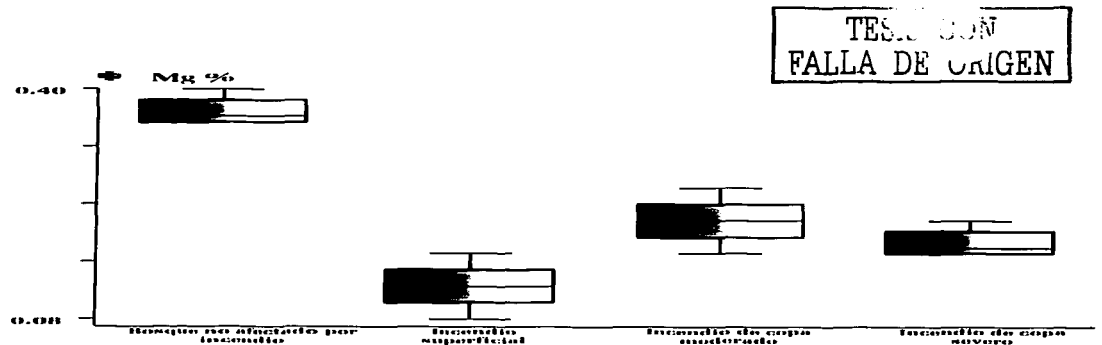


Figura 33. Variaciones del magnesio en tejido vegetal de plántulas de *Abies religiosa*, en cada sitio de estudio en el Parque Nacional "El Chico".

## **Regeneración de *Abies religiosa* en cada sitio de estudio**

En las zonas afectadas por incendios, en el Parque Nacional "El Chico", la regeneración de *Abies religiosa*, fue variable.

Después de cuatro años de ocurridos los incendios, la densidad de regeneración para cada sitio de estudio incluyendo el testigo (bosque no afectado por incendio), mostró una gran disparidad entre éstas. En el caso del bosque afectado por incendio superficial las plántulas están muriendo sin razón aparente, ya que el análisis de tejido vegetal no muestra deficiencias nutrimentales, mucho menos la cantidad de nutrimentos disponibles para éstas en el suelo. cabe mencionar que las herbáceas también padecen este efecto.

En el bosque afectado por incendio de copa moderado la regeneración, es excelente pues la densidad de esta zona, rebasa en número a las densidades juntas de el bosque no afectado por incendio, bosque afectado por incendio superficial y bosque afectado por incendio de copa severo. Especialmente en vigor y altura. Waldrop y Brose (1999), encontraron que los incendios de copa moderado, fueron los que presentaron mejor regeneración de plántulas de pino en las montañas Apalaches, en Estados Unidos.

En el sitio de bosque afectado por incendio de copa severo, la regeneración es constante, esto quiere decir que el número de individuos no muestra signos de decaimiento, ya que se mantienen con buen vigor y tamaño y esto contrasta con los niveles de nutrimentos y el pH, que son menores que en los demás sitios de estudio.

Por último, la regeneración y el desarrollo de las plántulas de *Abies religiosa*, no presentó relación con los nutrimentos del suelo (N, P, K, Ca y Mg) y los medidos en su tejido vegetal, entonces se debe tal vez a otros factores que no tomamos en cuenta o que superan lo realizado en éste trabajo. Por ejemplo la temperatura, horas de luz, etc. Sin embargo Vázquez y Moreno (2001), consideran que los incendios forestales promueven la regeneración de varias especies de coníferas y que son una estrategia de sanidad, dentro de los ecosistemas forestales y que les permiten perpetuarse.

Cabe mencionar que el bosque afectado por incendio superficial, es el sitio donde, las plántulas están pereciendo, diversas podrían ser las causas de éste fenómeno, entre las que podemos mencionar, que muy probablemente el tipo de incendio, osea el incendio superficial, provocó la compactación del suelo que es en éste donde tenemos la menos porosidad, por éste motivo menor infiltración de agua, así como la concentración de magnesio, que fue la menor en el tejido vegetal de las plántulas de ésta zona.

Spurr y Barnes (1982) aseguran que los incendios superficiales, alteran la cubierta forestal, de manera más severa que los incendios de copa, por que forman una capa permeable al agua, generando un escurrimiento en el suelo y provocan erosión si la pendiente es pronunciada.

Al cuantificar las plántulas de *Abies religiosa* en cada zona de estudio, se encontró que el número de éstas, varió dependiendo del incendio. Así para el incendio superficial, se cuantificó una densidad de 9,600 plántulas por hectárea, el incendio de copa moderado 250,000 y el incendio de copa severo 15,600 (Figura 34).

Spurr y Barnes (1982) sostienen que la competencia entre individuos de la misma especie en plántulas de árboles, no afecta la composición original del bosque y que la lucha por la supervivencia se lleva a cabo en el sotobosque y después de un periodo de tiempo (dependiendo la especie), la mortandad de las más débiles provoca la supervivencia de los futuros árboles padres. Quienes darán comienzo a la nueva recolonización del bosque.

Nyland (1998) propone, que después de los incendios forestales, los árboles padres inundan el suelo con sus semillas, las que germinaran rápidamente y competirán entre ellas para establecerse. Éste podría ser el caso de *Abies religiosa*.

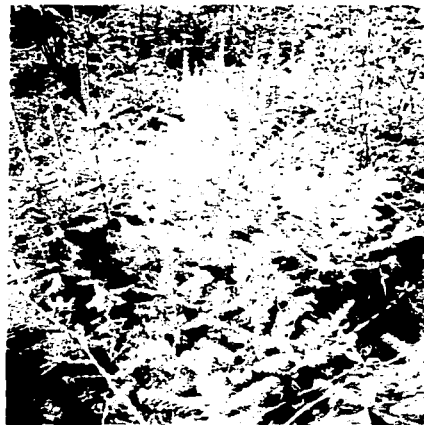
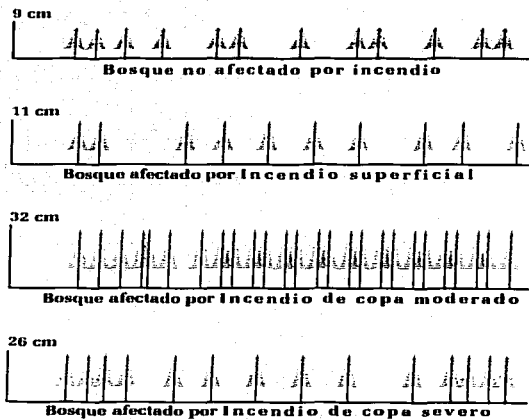


Figura 34. Regeneración en los cuatro sitios de estudio, la densidad de las plántulas del bosque afectado por incendio de copa moderado supera con creces, a los demás sitios, esto en número, altura y vigor. A la derecha un cuadrante de un metro por un metro, tomado en el bosque afectado por incendio de copa moderado, se cuantificó un número de 38 individuos.

## CONCLUSIONES

No se encontraron evidencias de que los incendios forestales hayan alterado las propiedades físicas, analizadas, de los suelos (Andosoles), de los bosques de *Abies religiosa*.

El pH, la materia orgánica, el K, Ca, Mg y la CIC, fueron modificadas por los incendios forestales en los suelos (Andosoles) de *Abies religiosa*.

A mayor intensidad de incendio el porcentaje de materia orgánica, se incrementa.

A mayor intensidad de incendio, el pH y el K, se incrementan, sin embargo en suelos poco profundos, éstos parámetros disminuyen por la lixiviación.

Los incendios aumentaron las concentraciones de nutrimentos N, P, K, Ca y Mg en el suelo, de cada sitio de estudio.

En suelo somero la concentración de calcio, magnesio y la capacidad de intercambio catiónico, disminuyen por el lavado de bases.

En el sitio de incendio superficial, se detectó mayor compactación del suelo.

Los incendios de copa moderado, crean condiciones del suelo más favorables para la regeneración de *Abies religiosa*.

Los incendios superficiales, son los que crean condiciones del suelo menos aptas para la regeneración de *Abies religiosa*.

Las plántulas de *Abies religiosa* no mostraron, en el análisis de tejido vegetal, falta de algún nutrimento, a pesar de las disparidades en tamaño.

**LITERATURA CITADA**

- Alriksson, A. y Eriksson H. M. 1998. Variations in mineral nutrient and C distribution in the soil and vegetation compartments of give temperate tree species in NE Sweden. *Forest ecology and management*. 108: 261-273
- Álvarez, D.; Laguna, G. y Rosas, I. 1998. Macroscopic and microscopic symptom in *Abies religiosa* exposed to ozono in a forest near México city. *Environmental Pollution*. 103: 251-259
- Ángeles, C. E. 1998. Bases para la restauración del estrato arbóreo de los bosques mixtos templados. Tesis. Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias UNAM.
- Asselin, H.; Fortín, J. M. y Bergeron, Y. 2001. Spatial distribution of late-successional coniferous species regeneration following disturbance in southwestern Québec boreal forest. *Forest ecology and management*. 140: 29-37
- Begon, M., Harper, L. J., y Townsed, R. C. 1988. *Ecología Individuos, poblaciones y comunidades*. Ed. Omega. Barcelona España pp. 725-736
- Bergeron, Y. y Harvey, B. 1997. Basing silviculture on natural ecosystem dynamics: an approach applied to the southern boreal mixedwood forest of Quebec. *Forest ecology and management*. 92: 235-242
- Brown, R. J. 1987. Soil testing: sampling, correlation, calibration and interpretation. Ed. SSSA special publication. 21 Soil Science Society of America, Inc. Madison, Winsconsin, USA pp. 80-87
- Buckman, H. O., y Brady, N. C. 1991. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. 4ª ed. Ed. UTEA. México pp.50-66
- Carrillo, F. R. y García, C. B. 1999. Impacto de los incendios forestales sobre el hábitat de la fauna silvestre en el ejido llano grande. Municipio de Durango DGO. Tesis. Licenciatura. División de ciencias forestales UACH.

- Cepeda, D. J. 1991. Química de suelos. 2ª ed. Ed. Trillas. México pp. 167
- Chao, L., Mikaelian, T. M. y Perera, A. 1997. Temporal fire disturbance patterns on a forest landscape. *Ecological modeling*. 99: 137-150
- Choromanska, U. y DeLuca, T. H. 2001. Prescribed fire alters the impact of wildfire on soil biochemical properties in a ponderosa pine forest. *Soil Sci. Soc. Am.* 65: 232-238
- Conard, G. S. e Ivanova, A. G. 1997. Wildfire in Russian boreal forest-potential impacts of fire regime characteristics on emissions and global carbon balance estimates. *Environmental pollution*. 98 (3): 305-313
- Corona, P., Leone, V. y Saracino, A. 1988. Plot size and shape for the early assessment of post-fire regeneration in Aleppo Pine Stands. *New forest*. 16: 213-220
- Cruz, F.G., Tirado, T. J., Alcántar, G. G., y Santizo, R. J. 2001. Eficiencia de uso en triticale y trigo en dos suelos con diferente capacidad de fijación de fósforo. *Terra*. 19 (1): 47-54
- Cruz, F. G. 1994. Evaluación de la absorción de fósforo por diferentes genotipos de triticale (*X Triticosecale wittmack*) y trigo (*Triticum aestivum*) en suelos con diferente capacidad de fijación de fósforo. Tesis. Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados.
- Dick, W. A., Cheng, L. y Wang, P. 2000. Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil biology & biochemistry*. 32: 1915-1919
- Duchaufour, P. 1978. Manual de edafología. Ed. Toray-masson, s.a. Barcelona . España pp. 210-226
- Everett, L. R., Schellhaas, R., Keenum, D., Spurbeck, D. y Ohlson, P. 2000. Fire history in the poderosa pine/Douglas-fir forests on the east slope of the Washington cascades. *Forest ecology and management*. 129: 205-225
- FitzPatrick, A. E. 1985. Suelos, su formación, clasificación y distribución. 2ª ed. Ed. Continental México pp. 79-110



- Flannigan, M. D., Stocks, B. J. y Wotton, B. 2000. Climate change and forest fires. The science of the total environment. 266: 221-229.
- Fuentes, Y. L. 1999. El suelo y los fertilizantes. Ed. Mundi-Prensa. Madrid España pp. 350
- Führer, E. 2000. Forest functions, ecosystem stability and management. Forest ecology and management: 132:29-37
- García, G. R. 2000. Comportamiento de la dinámica sucesional de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham., y *Pinus hartwegii* Lindl., en la estación experimental Zoquiapan, estado de México. Tesis. Licenciatura. División de ciencias forestales UACH.
- García, L. E. 1985. Efecto del fuego en la regeneración natural de *Pinus hartwegii* Lindl. En Zoquiapan, México. Tesis. Licenciatura. División de Ciencias Forestales UACH.
- González, G. M. 1985. Comportamiento de la germinación y crecimiento inicial de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. en diferentes condiciones de dosel, preparaciones al suelo y variantes de siembra en Zoquiapan, México. Tesis. Licenciatura. División de ciencias forestales. UACH.
- Gould, K.A.; Fredericksen, T. S.; Morales, F.; Kennard, D.; Putz, F. E.; Mostacedo, B. y Toledo, M. 2002. Post-fire tree regeneration in lowland Bolivia: implications for fire management. Forest ecology and management. 165: 225-234
- Hernández, E. M. 1985. Distribución y utilidad de los *Abies* en México. Boletín del Instituto de Geografía UNAM. No. 15 pp. 75-118
- Harold, W. y Hocker, Jr. 1984. Biología forestal. 1ª ed. Ed. AGT México pp. 338-347
- Honorato, P. R. 2000. Manual de edafología. 4ª ed. Ed. Universidad católica de Chile. México pp. 55-58
- Jiménez, C. P. 1999. Efecto del fuego en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en el bosque natural de *Pinus Patula* (H.B.K.) Schl. et Cham. Tesis. Licenciatura. División de ciencias forestales UACH.

- Johnson, H. 1980. Los árboles. 1ª ed. Ed. Blume España pp. 66
- Kettering, M.Q. y Bigham, J. M. 2000. Soil color as an indicator of Slash-and-Burn fire severity and soil fertility in Sumatra, Indonesia. *Soil Sci. Soc. Am.* 64:1826-1833
- Lal, R. 1999. Soil quality and soil erosion. Ed. CRC Press. USA pp. 242-243
- López, L. M. 1993. Evaluación nutrimental de *Abies religiosa* en el desierto de los leones, D. F. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados.
- Lloret, F. y Gerard, M. 2001. A comparison of the medieval and the current fire regimes in managed pine forests of Catalonia (NE Spain). *Forest ecology and management.* 141: 155-163
- Madrigal, X. 1967. Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham.) en el Valle de México. Bol. Div. No. 45. SAG. México.
- Manzanilla, H. 1976. Investigaciones epidemiométricas y silvícolas en bosques mexicanos de *Abies religiosa*. SAG. México. 165 pp.
- Marafa, L. M. y Chau, K. C. 1999. Morphological and chemical properties of soils along a vegetation gradient affected by fire in Honk Kong. *Soil Science.* 164:9: 683-691
- Martínez, M. A. 2001. Regeneración natural después de un disturbio por el fuego en los microambientes contrastantes de la reserva ecológica "El Pedregal". Tesis licenciatura. Facultad de Ciencias UNAM
- Martínez, P. F. 1994. Situación actual de los parques nacionales en la región central de México: un diagnóstico general. Tesis. Licenciatura. División de ciencias forestales UACH.
- McCarthy, M. A., Gill, A. M. y Lindenmayer, D. B. 1999. Fire regimes in mountain ash forest: evidence from forest age structure, extinction models and wildlife habitat. *Forest ecology and management.* 124: 193-203
- Mimbrera, H. M. y Medina, R. H. 2001. Efecto del fuego en la vegetación del parque nacional el Chico. Hidalgo. Tesis. Licenciatura. División de ciencias forestales UACH.

- Moritsuka, N., Yanai, J., y Kosaki, T. 2001. Effect of soil heating on the dynamics of soil available nutrients in the rhizosphere. *Soil Sci. Plant Nutr.* 47:2:323-331
- Niembro, R. A. 1990. Árboles y arbustos útiles de México. 2ª ed. Ed. LIMUSA. México. pp. 25-26
- Nyland, D. R. 1998. Patterns of lodgepole pine regeneration following the 1998 Yellowstone fires. *Forest ecology and management.* 111: 23-33
- Ortega, T.E. 1987. Química de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México. Ppp. 417
- Palmer, G. R. y Troeh, F.R. 1989. Introducción a la ciencia del suelo. Ed. AGT Editor, S.A. México. pp. 34-37
- Parker, L.J., Fernández J.I., Rusted, E.L., y Norton A.S. 2001. Effects of nitrogen enrichment, wildfire, and harvesting on forest-soil carbon and nitrogen. *Soil Soc.* 65: 1248-1255
- Perez, V. M., Rosas, V. M., Montalvo, C. A., y Arvide, T. M. 2002. Andosoles. XX Curso Diplomado Internacional de Edafología "Nicolás Aguilera" UNAM
- Pritchett, L. W. 1991. Suelos forestales. 2ª ed. Ed. LIMUSA México pp.535-558
- Ramírez, R. R. 1999. Concentración de fuentes de carbono, sales totales y agente gelificante durante la organogénesis *in vitro* de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis. Maestría en ciencias: Colegio de Postgraduados.
- Raven, H. P., Everet, F. R., y Erichhorn, E. S. 1992. Biología de las plantas. Ed. Reverte Barcelona España pp. 666-669
- Rodríguez, S. F. 1982. Fertilizantes, nutrición vegetal. Ed. AGT Editor. México pp. 157
- Román, I. R. 2002. Ecología de semillas y plántulas de *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham. en el parque nacional "Cumbres del ajusco", D. F., México. Tesis licenciatura. FES Zaragoza. UNAM
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. 1ª ed. Ed. LIMUSA México pp. 283,302-310

- Salisbury, B. F. y Ross, W. C. 1994. Fisiología vegetal. Ed. Iberoamérica. México pp. 127-149
- Sánchez, S. O. 1979. La flora del valle de México, 5ª ed. Ed. Herrero S.A México pp.22
- Santamarina, S. P., García, B. F., Roselló, C. J. y Vilella, F. V. 1997. Biología y botánica (tomo I y II). Ed. Servicio de publicaciones. España pp. 211-240
- SARH. 1992. Expedientes económicos de los parques nacionales
- Scott, C. A., Moore, J., y Brayshay, B. 2000. Introduction to fire and the palaeoenvironment. Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology. 164: 7-11
- Singer, J. M. y Munss, N. D. 1999. Soils an introduction. Ed. Prentice Hall. USA NY. pp. 30-48
- SMCS. 1998. Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelo y plantas de laboratorio de fertilidad de suelos. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. IRENAT- Colegio de Postgraduados.
- Spurr, H. S. y Barnes, V. B. 1982. Ecología forestal. 1ª ed. Ed. AGT Editor, S.A México pp. 275-289
- Tamhane, R.V. 1979. Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. 2ª ed. Ed. DIANA. México pp. 31-56
- Tisdale, L. S. y Nelson, L. W. 1988. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Ed. UTHEA. México pp. 759
- Vázquez, A. y Moreno, M. J. 2001. Spatial distribution of forest fires in sierra de Gredos (Central Spain). Forest ecology and management. 147: 55-65
- Ville, A. C. 1992. Biología. 2ª ed. Ed. Interamericana. México pp.1205
- Wada, K. 1985. The distinctive properties of andosols. Soil Science. 2: 173-229
- Waldrop, A. T. y Brose, P. H. 1999. A comparison of fire intensity levels for stand replacement of table mountain pine (*Pinus pungens* Lamb). Forest ecology and management. 113: 155-166

TESIS CON  
FALLA DE ENGEN

ESTA TESIS NO SE  
DE LA BIBLIOTECA

## APÉNDICE

**Tabla A. Resultados de muestras de suelo, repeticiones para la capa 1, en cada sitio de estudio.**

SITIOS	Profundidad — cm —	Repeticion	pH KI	pH H <sub>2</sub> O	C.E. µmhos/cm <sup>2</sup>	M.O. — % —	D.R. — g cm <sup>-3</sup> —	D.A.	Pseudidad — % —	Limo %	Arcilla %	Arena %	P ppm	N	K	Ca Cmol <sub>c</sub> /Kg.	Mg	Na	CIC
Bosque no afectado por incendio	0-10	1	5.03	5.94	0.08	30.15	1.83	0.77	57.95	32	8	80	2797	0.96	0.87	4.70	1.70	0.15	7.12
Bosque no afectado por incendio	0-10	2	5.05	5.85	0.05	30.15	1.85	0.78	58.03	32	8	80	11188	0.51	0.85	4.01	1.78	0.11	6.45
Bosque no afectado por incendio	0-10	3	5.22	5.74	0.05	29.48	1.94	0.78	58.90	32	8	80	11188	0.59	1.17	4.84	3.15	0.18	9.32
Bosque no afectado por incendio	0-10	4	5.01	5.85	0.07	30.15	2.17	0.78	64.11	32	8	80	2797	0.66	0.76	4.52	2.21	0.14	7.94
Bosque afectado por incendio superficial	0-10	1	4.48	5.61	0.06	25.51	1.70	0.76	57.59	36	8	80	5594	0.59	1.22	0.50	3.56	0.24	11.5
Bosque afectado por incendio superficial	0-10	2	5.08	5.88	0.07	33.50	1.72	0.76	55.91	36	8	80	2797	0.68	1.25	0.23	3.56	0.09	11.1
Bosque afectado por incendio superficial	0-10	3	5.03	6.03	0.10	25.51	1.79	0.76	57.59	32	8	80	5594	0.74	1.24	0.38	3.56	0.18	11.2
Bosque afectado por incendio superficial	0-10	4	6.62	6.24	0.13	34.84	1.70	0.76	55.46	32	8	80	5594	0.59	1.24	0.28	3.56	0.18	11.2
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0-10	1	5.46	6.22	0.10	36.85	1.51	0.67	57.25	34	12	54	50449	0.98	1.39	0.09	3.24	0.03	10.7
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0-10	2	5.01	6.46	0.15	40.20	1.58	0.68	54.98	34	12	54	16783	0.88	1.98	5.53	1.86	0.13	9.51
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0-10	3	5.51	6.26	0.14	40.20	1.63	0.68	56.28	32	12	56	25174	0.81	1.34	3.46	2.67	0.17	7.64
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0-10	4	5.08	5.98	0.11	40.20	2.35	0.76	53.48	32	12	56	8391	0.74	1.57	5.03	2.50	0.11	9.30
Bosque afectado por incendio de copa severo	0-10	1	4.55	5.24	0.11	42.88	1.71	0.72	55.07	32	8	80	2797	0.59	0.96	4.43	2.91	0.15	8.06
Bosque afectado por incendio de copa severo	0-10	2	4.52	5.25	0.05	40.20	1.24	0.70	55.01	32	8	80	2797	0.66	1.16	3.12	2.75	0.11	9.15
Bosque afectado por incendio de copa severo	0-10	3	4.46	5.26	0.04	41.54	1.24	0.70	38.99	36	6	58	2797	0.66	0.77	5.53	2.34	0.17	8.82
Bosque afectado por incendio de copa severo	0-10	4	4.16	4.92	0.10	40.20	1.71	0.76	55.61	36	6	58	2797	0.66	0.83	5.03	2.60	0.14	8.81

C.E Conductividad eléctrica, M.O Materia orgánica, D.R Densidad real, D.A Densidad aparente, CIC Capacidad de intercambio catiónico.

**Tabla B. Resultados de muestras de suelo, repeticiones para la capa 2, en cada sitio de estudio.**

SITIOS	Profundidad — cm —	Repeticion	pH KI	pH H <sub>2</sub> O	C.E. µmhos/cm <sup>2</sup>	M.O. — % —	D.R. — g cm <sup>-3</sup> —	D.A.	Pseudidad — % —	Limo %	Arcilla %	Arena %	P ppm	N	K	Ca Cmol <sub>c</sub> /Kg.	Mg	Na	CIC
Bosque no afectado por incendio	11-20	1	4.14	5.53	0.05	16.75	2.33	0.80	65.75	34	8	58	5594	0.44	0.91	5.81	2.10	0.10	8.10
Bosque no afectado por incendio	11-20	2	4.29	5.10	0.02	16.08	2.10	0.81	61.60	34	8	58	2797	0.44	0.97	4.84	2.18	0.15	8.14
Bosque no afectado por incendio	11-20	3	4.29	5.57	0.03	16.75	2.10	0.80	63.51	34	8	58	11188	0.37	1.00	4.84	2.18	0.18	8.20
Bosque no afectado por incendio	11-20	4	4.29	5.50	0.03	13.40	2.15	0.81	82.41	24	8	58	5594	0.44	0.96	5.16	2.16	0.14	8.43
Bosque afectado por incendio superficial	11-20	1	4.59	5.31	0.04	22.78	2.00	0.80	60.15	28	12	60	19580	0.44	0.69	6.38	1.94	0.23	9.22
Bosque afectado por incendio superficial	11-20	2	4.53	5.58	0.05	21.44	1.89	0.81	57.23	28	12	60	19580	0.29	0.68	4.98	2.18	0.19	8.04
Bosque afectado por incendio superficial	11-20	3	4.50	5.94	0.04	23.45	1.81	0.81	55.44	32	14	54	19580	0.44	0.96	5.81	2.69	0.03	9.48
Bosque afectado por incendio superficial	11-20	4	4.50	5.71	0.04	23.45	1.56	0.81	57.71	32	14	54	23377	0.44	0.68	5.72	2.37	0.15	8.92
Bosque afectado por incendio de copa moderado	11-20	1	4.86	5.86	0.03	18.76	2.02	0.80	66.07	38	12	50	13986	0.37	0.89	5.12	2.67	0.11	8.59
Bosque afectado por incendio de copa moderado	11-20	2	4.80	5.87	0.04	18.76	2.01	0.80	60.47	38	12	50	11188	0.51	0.95	4.70	2.83	0.10	8.58
Bosque afectado por incendio de copa moderado	11-20	3	5.01	5.99	0.05	18.09	1.90	0.78	63.21	34	14	52	39190	0.44	1.06	4.70	2.51	0.60	8.36
Bosque afectado por incendio de copa moderado	11-20	4	4.81	5.60	0.05	20.10	1.60	0.80	57.91	34	14	52	5594	0.44	0.90	4.84	2.67	0.10	8.51
Bosque afectado por incendio de copa severo	11-20	1	4.11	4.93	0.05	23.50	2.06	0.75	63.99	32	4	64	8391	0.51	0.48	4.56	1.76	0.20	7.03
Bosque afectado por incendio de copa severo	11-20	2	4.03	5.08	0.05	26.80	2.06	0.77	62.88	32	4	64	8391	0.51	0.45	4.29	1.70	0.11	6.96
Bosque afectado por incendio de copa severo	11-20	3	4.04	4.89	0.05	26.80	2.06	0.77	61.19	32	4	66	5594	0.59	0.50	3.87	1.53	0.22	6.12
Bosque afectado por incendio de copa severo	11-20	4	4.15	4.88	0.05	30.15	2.06	0.79	56.54	32	4	66	5594	0.59	0.48	4.24	1.67	0.18	6.57

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Tabla C. Resultados de las muestras de tejido vegetal en las plántulas de *Abies religiosa*, para cada sitio de estudio.

SITIOS	Repetición	N	P	K	Ca	Mg	Na	N/P	Ca/Mg	Plantulas planta <sup>1</sup>	Altura cm	Biomasa planta <sup>1</sup>
Bosque no afectado por incendio	1	1.01	0.10	3.59	5.07	0.35	0.01	16.1	15.8	10000	9	0.18
Bosque no afectado por incendio	2	1.54	0.10	3.27	8.48	0.40	0.05	14.3	18.1	10000	9	0.18
Bosque no afectado por incendio	3	1.47	0.10	3.05	6.13	0.35	0.07	13.7	17.1	10000	9	0.18
Bosque no afectado por incendio	4	1.47	0.10	3.30	6.09	0.37	0.04	14.7	18.3	10000	9	0.18
Bosque afectado por incendio superficial	1	1.41	0.07	4.84	7.52	0.08	0.01	19.7	84.3	9000	11	0.22
Bosque afectado por incendio superficial	2	1.41	0.07	3.45	5.32	0.17	0.03	10.7	29.8	9000	11	0.22
Bosque afectado por incendio superficial	3	1.41	0.07	4.03	5.07	0.13	0.02	17.9	42.3	9000	11	0.22
Bosque afectado por incendio superficial	4	1.34	0.07	4.04	6.17	0.13	0.02	18.7	48.1	9000	11	0.22
Bosque afectado por incendio de copa moderado	1	1.08	0.07	3.97	3.55	0.26	0.02	23.5	20.7	250000	32	1.17
Bosque afectado por incendio de copa moderado	2	1.01	0.07	3.01	5.32	0.22	0.05	20.4	23.8	250000	32	1.17
Bosque afectado por incendio de copa moderado	3	1.08	0.07	3.64	4.86	0.17	0.05	23.5	27.2	250000	32	1.17
Bosque afectado por incendio de copa moderado	4	1.54	0.07	3.74	5.24	0.22	0.04	21.5	23.4	250000	32	1.17
Bosque afectado por incendio de copa severo	1	1.34	0.10	3.45	3.58	0.17	0.02	12.5	20.0	15000	28	1.08
Bosque afectado por incendio de copa severo	2	1.34	0.10	3.58	2.77	0.17	0.06	12.5	15.5	15000	28	1.08
Bosque afectado por incendio de copa severo	3	1.34	0.01	3.59	2.68	0.22	0.05	12.5	11.0	15000	28	1.08
Bosque afectado por incendio de copa severo	4	1.34	0.14	3.54	3.00	0.10	0.05	9.38	15.5	15000	28	1.08

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN