

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA FORESTAL

**“EFECTO DEL FUEGO SOBRE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS
NUTRIMENTALES EN EL SUELO DE UN BÓSQE DE *Pinus patula* EN
ZACUALTIPÁN, HIDALGO”**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN MANEJO DE RECURSOS FORESTALES**

PRESENTA:

DANNY ALFREDO HENÁNDEZ VITAL

Tulancingo de Bravo Hidalgo, enero del 2007

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado con la supervisión académica del Dr. Juan Capulín Grande, Catedrático de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, quien fungió como Director de Tesis y a quien agradezco infinitamente su paciencia, dedicación y profesionalismo con que dirigió esta investigación.

También es grato reconocer la valiosa participación de los Doctores José Justo Mateo Sánchez, Juana Fonseca González, Leopoldo Mohedano Caballero y el M. en C. Ramón Razo Zárate; quienes con su atinada intervención hicieron posible la culminación de este trabajo.

No puedo olvidar que para llegar a la culminación de esta tesis, fueron pilares importantes todos los catedráticos, que contribuyeron a mi formación académica, por lo que a través de este conducto les ratifico mi reconocimiento y agradecimiento.

También agradezco a mis amigos de grupo quienes me brindaron su amistad siempre: Héctor, Marcelo, Víctor, Chuy, Carlos, Teo, Ángela, Vianey y compañeros de generación que estimularon el seguimiento y culminación de mi carrera.

Se agradece al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) por el financiamiento económico de la investigación, mediante el convenio PROMEP:103.5/04/2760.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
ÍNDICE.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE CUADROS.....	v
RESUMEN.....	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.1.1 Objetivos particulares.....	3
2.2 Hipótesis.....	3
III. REVISION DE LITERATURA.....	4
3.1 Incendios forestales.....	4
3.1.1 Tipos de incendio.....	5
3.1.2 Elementos del fuego.....	6
3.2 Efecto del fuego sobre el suelo y los nutrientes.....	7
3.3 Transformación de la materia orgánica del suelo.....	9
3.4 Regeneración vegetal después del fuego.....	13
3.5 Recolonización de las localidades quemadas.....	14
3.6 Efectos del fuego en las propiedades físicas del suelo.....	15
3.7 Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo.....	17
3.8 Efecto del fuego en las propiedades biológicas del Suelo.....	19
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
4.1 Delimitación del área de estudio.....	22
4.2 Muestreo del suelo y vegetación.....	23
4.3 Contenido nutrimental e identificación de la vegetación.....	24
4.4 Caracterización del área de estudio	25
4.4.1 Clima.....	25

4.4.2 Suelo.....	26
4.4.3 Fisiografía.....	26
4.4.4 Geología.....	26
4.4.5 Hidrología.....	26
4.4.6 Tipos de vegetación.....	27
4.4.7 Fauna silvestre.....	27
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
5.1 Análisis nutrimental del suelo antes y después del Incendio.....	28
5.2 Análisis nutrimental del suelo seis meses después del Incendio.....	37
5.3 Análisis nutrimental del suelo un año después del Incendio.....	40
5.4. Dinámica Nutrimental.....	43
5.5. Dinámica de la regeneración y evolución de la vegetación natural.....	49
VI. CONCLUSIONES.....	51
VII. LITERATURA CITADA.....	52

LISTA DE FIGURAS

Número		Página
1	Tetraedro del fuego.....	7
2	Localización del municipio de Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo.....	21
3	Localización de las parcelas dentro del área quemada y el testigo.....	23
4	Contenido de nitrógeno en el suelo a diferentes profundidades y tiempo.....	43
5	Contenido de fósforo en el suelo a diferente profundidad y tiempo.....	45
6	Contenido de materia orgánica en el suelo a diferente profundidad y tiempo.....	46
7	Contenido de sulfatos en el suelo a diferentes profundidades y tiempo.....	47
8	Contenido de pH en el suelo a diferentes profundidades y tiempo.....	48

LISTA DE CUADROS

Número		Página
1	Propiedades físicas y químicas del suelo antes y después del incendio a dos profundidades.....	28
2	Variación del contenido nutrimental y otros parámetros del suelo seis meses después del incendio a dos profundidades.....	37
3	Parámetros del suelo a un año después del incendio a dos profundidades.	40
4	Especies vegetales encontradas en el área quemada y no quemada antes del incendio y 180 días después del incendio.....	49

RESUMEN

Los ecosistemas forestales son afectados por diversos factores que inciden en su deforestación y degradación; uno de estos factores es el fuego. Dentro de los efectos negativos de los incendios se tienen la pérdida de nutrientes por volatilización, destrucción de la cubierta vegetal y contaminación por humos. Esta investigación se desarrolló con la finalidad de monitorear durante un año, el comportamiento de algunos nutrimentos en el suelo y especies vegetales después de un incendio moderado ocurrido de forma natural en el Municipio de Zacualtipán, Hgo. Se delimitaron parcelas de estudio dentro y fuera del área quemada. En cada parcela se realizaron muestreos de suelo a dos profundidades, 0-5 y 5-30 cm y una colecta florística en diferentes tiempos (antes del incendio, 30,180 y 360 días después del incendio). Los resultados indicaron mayor variación de las variables evaluadas en el suelo a la profundidad de 0-5 cm. Los cambios negativos que se encontraron fueron la desaparición de la capa orgánica superficial y la pérdida del estrato herbáceo que son los principales protectores del suelo contra la erosión. Sin embargo, la intensidad moderada de este incendio benefició la disponibilidad de algunos nutrimentos en el suelo como son: P, Ca, Mg, SO₄, Na, Zn y Mn, quienes aumentaron su contenido en el suelo. El pH presenta el mismo comportamiento de incrementar su valor a consecuencia de la destrucción del residuo orgánico y acumulación de cenizas y cationes. Por otro lado, la materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total reducen su contenido en el suelo al paso del tiempo. El fuego destruyó totalmente la vegetación herbácea, pero con el paso del tiempo se regeneraron algunas especies existentes y aparecieron nuevas consideradas como pioneras. Los estratos arbustivo y arbóreo solo sufrieron pequeñas quemaduras.

I. INTRODUCCION

La Republica Mexicana se encuentra catalogada como uno de los países mega diversos ya que cuenta con una gama muy amplia de ecosistemas naturales, distribuidos a lo largo y ancho del territorio, así como con bosques tropicales, subtropicales, templado-fríos, sabanas y chaparrales, los cuales son muy importantes en el desarrollo de la economía nacional; dichos ecosistemas están influidos por condiciones climáticas diferentes, razón por la que son distintos entre sí, estos factores, generan degradación y deforestación; por ejemplo: el cambio de uso de suelo, el clandestinaje maderero, la presencia de plagas y enfermedades forestales, el incremento demográfico y los incendios forestales, que hoy día han causado grandes daños a muchos ecosistemas. En México los incendios forestales son generados principalmente por actividades humanas, estimándose que en 1999, el 44% se debió a las actividades agropecuarias y a la práctica agrícola denominada rosa, tumba y quema. Cuando se pierde la vegetación que cubre el suelo e incluso el mantillo vegetal, a consecuencia del incendio, el suelo queda expuesto a la acción de la lluvia y el viento, lo cual posibilita el desarrollo de procesos erosivos. Si bien la vegetación quemada aporta elementos nutritivos al suelo a través de las cenizas, éstas no contienen nitrógeno (que se pierde por volatilización), además de que el suelo deja de contar con la materia orgánica y la micro fauna necesaria para la producción del humus. Asimismo, resultan afectadas las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos en distinta forma según su textura (por ejemplo, los suelos arenosos pueden aumentar su permeabilidad al agua y los arcillosos disminuirla). Los efectos que causa el fuego no necesariamente son negativos. Entre los efectos benéficos podemos mencionar que

después de los incendios forestales se propicia el rebrote de pasto tierno que sirve para la alimentación de ganado y de alguna especie de fauna silvestre, también propicia la apertura de los conos serotinos para la liberación de las semillas de algunas especies como *Pinus patula*, se abate el combustible ligero (pastos, hojarasca y hierbas entre otros), coadyuvando a que disminuya la posibilidad de incendios de grandes magnitudes. Otro efecto benéfico es la inmediata disponibilidad de nutrimentos metálicos presentes en las cenizas de los residuos orgánicos, puesto que estos ya no tienen que pasar un proceso de mineralización. (SEMARNAT, 2000).

Los suelos que han estado sometidos a una temperatura elevada evidencian, casi siempre, cambios en sus propiedades físicas y químicas; que tiene como resultado una mayor erosión. Además la erosión modifica la respuesta hidrológica generando más escorrentía debido a la desaparición de la capa superior absorbente. Otro aspecto interesante para el estudio de estos cambios es el incremento de material susceptible de ser erosionado a causa del debilitamiento de la estructura de los suelos. Los cambios físicos son atribuidos, en gran medida, a cambios químicos y mineralógicos producidos por el incremento de la temperatura y la pérdida de materia orgánica. Así pues, un cambio en la textura del suelo puede ser debido a la calcinación de hierro y aluminosilicatos a temperaturas suficientemente elevadas. (West *et al.*, 1981)

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.

2.1 Objetivo general.

- ✓ Conocer la influencia del fuego sobre el contenido de nutrimentos en un suelo de un bosque de *Pinus patula*.

2.1.1 Objetivos particulares.

- ✓ Cuantificar el contenido de nutrimentos (N, P, K, Ca, Mg, SO₄, Zn, Cu, Mn, Fe y C total) en el suelo, de un bosque de *Pinus patula* afectado por fuego.
- ✓ Determinar la variación de algunos nutrimentos (N, P, SO₄) pH y MO después del fuego en el lapso de un año.
- ✓ Determinar la influencia del fuego en la dinámica de la regeneración natural de la vegetación.

2.2 Hipótesis

- ✓ El fuego afecta positivamente el contenido de algunos nutrimentos en el suelo de un bosque de *Pinus patula*.
- ✓ El contenido de N, P y S-SO₄ se reduce a consecuencia del fuego, pero se recupera en el lapso de un año.

- ✓ Después del fuego, la vegetación se regenera con mayor agresividad y proliferan otras especies.

III. REVISION DE LITERATURA

3.1 Incendios forestales

Los Incendios forestales se presentan de forma natural o provocada y queman la vegetación de un bosque. Los silvicultores suelen distinguir tres tipos de incendios forestales: los de suelo subterráneo que queman la capa de humus del suelo del bosque pero no arden de forma apreciable sobre una superficie; los de superficie que queman el sotobosque y los residuos superficiales; y los de corona, que avanzan por las copas de los árboles o arbustos. No es frecuente que se produzcan dos o tres de estos tipos de incendio al mismo tiempo. Los programas de lucha contra incendios son frecuentes en muchos países, e incluyen la prevención y la lucha contra estos (SEMARNAP, 2000). La gestión de suelos es una técnica de deforestación, muy utilizada para despejar grandes áreas de bosque con fines agrícolas, pecuarios y otros, es muy dañina para el medio ambiente, ya que la gran cantidad de dióxido de carbono desprendida contribuye al efecto invernadero a nivel global. La desaparición de los árboles y la cubierta vegetal destruye hábitats, acelera la erosión del suelo y multiplica la carga de sedimentos en los ríos, haciendo que las inundaciones estacionales sean mucho más graves.

3.1.1 Tipos de incendio

Cuando ocurre un incendio si el viento esta en calma un bosque se quema lentamente, pero cuando el viento sopla, las llamas se elevan, haciendo que el fuego avance a una velocidad vertiginosa. Ni siquiera los caminos son capaces de detener el avance de un incendio con viento.

Cuando el incendio ha pasado no queda nada sobre y debajo del suelo. Si la combustión fue rápida hay una probabilidad de que las raíces hayan sobrevivido, y la planta vuelve a recuperarse en un lapso de dos o tres años. Si no es así le demandará un poco más de tiempo, pero no más de diez años. El problema es que al no haber vegetación el suelo queda expuesto. El viento hace un trabajo erosionador impresionante. En días de viento, a muchos kilómetros de distancia se ven las columnas de polvo elevarse en los cerros. Un incendio de bosque es más complejo aunque puede ser reducido a dos aspectos básicos: 1) el fuego de copa y 2) el fuego de sotobosque (SEMARNAP, 2000).

El fuego de copa es el más peligroso, se presenta cuando el viento sopla con mayor intensidad y todo el follaje del árbol arde al mismo tiempo en una gigantesca llamarada. El calor generado ronda los 600 a 1000 °C. Como en un bosque un árbol no se quema solo, el efecto es abrumador. Mientras que el viento a veces hace que un árbol queme sus hojas pero no el tronco (lo que en cierta forma es una ventaja, ya que el árbol no muere y en dos años puede brotar de nuevo). Esta gran masa incandescente eleva tanto la temperatura del aire que genera su propio microclima, absorbiendo aire y

expulsando el aire caliente en una turbulencia que tiende a girar sobre si mismo, generando una especie de tornado al revés. En esta turbulencia son lanzadas ramas y hojas encendidas en lo que es una verdadera lluvia de fuego, que luego encienden más árboles a cientos de metros de distancia. El sonido que produce este tipo de fuego es ensordecedor, este tipo de fuego merece el título de "incontrolable". El segundo tipo de fuego es cuando no hay viento. Los árboles se queman lentamente y las llamas consumen las plantas del sotobosque. Es posible caminar con relativa seguridad al lado del fuego. Aquí donde los brigadistas pueden trabajar en su lucha por cercar, controlar y apagar el fuego. En este tipo de fuego todo se quema lento y a fondo. Incluso las raíces se queman a varios metros bajo el suelo. Pueden estar quemándose semanas antes de apagarse, y hacer que un fuego rebrote en cualquier momento, en cualquier parte (Rodríguez, 2002).

3.1.2 Elementos del fuego

El fuego es una reacción de oxidación de material combustible acompañada de una liberación de energía en forma de luz y calor. Por muchos años el triángulo del fuego, ha sido adecuadamente usado para la explicación y descripción de la combustión en la teoría de la extinción. Oxígeno, calor y combustible en proporciones propias crean un fuego y si uno de estos elementos faltara no existiría tal acción. La reacción de combustión se puede caracterizar por cuatro componentes: el combustible (agente reductor), comburente (el agente oxidante), el calor y una reacción química auto-mantenida. Estos cuatro componentes se han simbolizado clásicamente mediante el sólido de cuatro caras llamado tetraedro. (Figura 1). Los incendios se pueden evitar o

suprimir controlando o eliminando una o más de las caras del tetraedro (Rodríguez, 2002).

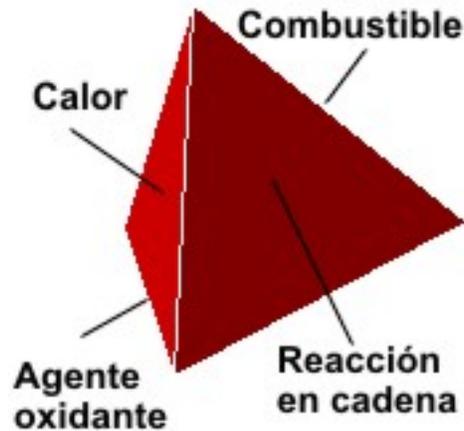


Figura 1.- tetraedro del fuego

3.2 Efecto del fuego sobre el suelo y los nutrientes.

El fuego afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo forestal en función de factores tales como la intensidad del siniestro, la humedad del suelo, la cobertura vegetal remanente al paso de las llamas, la pendiente del terreno, el clima, así como las propias características físicas, químicas y biológicas del suelo, entre otras. De acuerdo a Barney et al. (1984) se pueden apreciar tres niveles en la intensidad de Fuegos.

Bajo. La capa de materia orgánica se quema superficialmente. Esta categoría la produce incendios superficiales, con temperaturas superficiales del orden de 250°C, las temperaturas letales para el tejido viviente alcanzan 2.5 cm de profundidad.

Moderado. La capa de materia orgánica se quema casi en su totalidad. La estructura del suelo no se altera visiblemente. La temperatura superficial del suelo es del orden de los 250 hasta 700 °C, y afecta hasta 5 cm de profundidad.

Alto. La materia orgánica se reduce a cenizas. El color y la estructura del suelo mineral se alteran visiblemente. Se trata de incendios de matorral o de copas con temperaturas superficiales mayor de 700°C, alcanzando las temperaturas letales a una profundidad mayor a 5 cm.

El fuego afecta el ciclo de los nutrientes directa o indirectamente. Algunos nutrientes se pierden directamente durante la quema por el vuelo de cenizas acarreadas por el viento, o por volatilización en forma gaseosa (nitrógeno y azufre). Los nutrientes se pierden porque después del paso de las llamas, se incrementan la erosión y lixiviación, se merma la materia orgánica, hay cambios en las comunidades microbianas, efectos en la conservación de nutrientes a formas disponibles, y efectos en la habilidad de los árboles para competir exitosamente por ellos (Perry, 1991).

El efecto benéfico de las quemas es la liberación de los nutrientes que están en los residuos orgánicos. Al respecto Viro (1974) en una quema controlada registró aumentos de 50 Kg ha⁻¹ en potasio, aunque a los nueve años su cantidad se redujo al 50%, con respecto a los controles. El calcio se incrementó 300%. El magnesio, duplicó su cantidad, igualándose con la del control a los seis años. El fósforo tuvo un incremento de 25 Kg ha⁻¹, correspondiente al 100%, que se redujo al cabo de 6 años a 11 Kg ha⁻¹. Debe señalarse que el potasio, el calcio y el magnesio se pierden en parte por

absorción del suelo mineral superficial, y en parte por su lavado. La pérdida por lavado afecta más lentamente al fósforo.

Según este mismo autor el nitrógeno de la materia orgánica primero es mineralizado y convertido a amonio o nitrato, después de la quema el amonio se reduce durante los tres primeros años e incrementa luego de doce. El nitrato aumenta los primeros años después del incendio, pudiendo triplicar su cantidad. Las pérdidas de nitrógeno producto de las quemadas, se determinaron en 320 Kg ha^{-1} , de las cuales 180 Kg ha^{-1} provienen de las partes muertas de la vegetación y 140 Kg ha^{-1} de la capa de humus.

3.3 Transformación de la materia orgánica del suelo.

Los residuos de las plantas constituyen el material principal de la materia orgánica del suelo. Bajo condiciones naturales, todos estos residuos (partes aéreas y raíces de los árboles, arbustos, vegetación acompañante y otras plantas) aportan anualmente al suelo una gran cantidad de residuos orgánicos. El término general utilizado para definir la mezcla compleja de materia orgánica del suelo es humus. No es una mezcla estable de sustancias químicas, es más bien una mezcla dinámica, en constante cambio, que representa cada etapa de la descomposición de la materia orgánica muerta, desde la más simple a la más compleja. El proceso de descomposición está causado por la acción de un gran número de bacterias y hongos microscópicos. Estos microorganismos atacan y digieren los compuestos orgánicos complejos que constituyen la materia viva, reduciéndola a formas más simples que las plantas pueden usar como alimento. (Pritchett, 1986). Unas bacterias oxidan el amoniaco para formar

nitritos, y otras actúan sobre los nitritos para constituir nitratos que es la forma del nitrógeno más utilizada por las plantas. Algunas bacterias son capaces de atraer, o extraer, nitrógeno del aire de forma que quede disponible en el suelo. Incluso partes no descompuestas del humus, o que sólo han experimentado descomposición parcial, contribuyen a la fertilidad del terreno dando al suelo una textura más ligera y porosa.

Continuando con este mismo autor, el humus, es la materia orgánica en descomposición que se encuentra en el suelo y procede de restos vegetales y animales muertos. Al inicio de la descomposición, parte del carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno se disipan rápidamente en forma de agua, pero los demás componentes se descomponen lentamente y permanecen en forma de humus. La composición química del humus varía porque depende de la acción de organismos vivos del suelo, como bacterias, protozoos, hongos y ciertos tipos de escarabajos, pero casi siempre contiene cantidades variables de proteínas y ciertos ácidos urónicos combinados con ligninas y sus derivados. El humus es una materia homogénea, amorfa, de color oscuro e inodora. Los productos finales de la descomposición del humus son sales minerales, dióxido de carbono y amoníaco. Al descomponerse en humus, los residuos vegetales se convierten en formas estables que se almacenan en el suelo y pueden ser utilizados como alimento por las plantas. La cantidad de humus afecta también a las propiedades físicas del suelo tan importantes como su estructura, color, textura y capacidad de retención de la humedad. Bajo condiciones naturales, así como en zonas que no han sido nunca perturbadas por cultivo o deforestación, hay un equilibrio entre la cantidad de humus destruido por descomposición total y la materia añadida por la putrefacción de plantas y de cuerpos animales. Donde se practica la agricultura o donde se altera el

equilibrio de los procesos naturales, causada por los humanos, o por accidentes naturales como el fuego, se pierde la estabilidad y se reduce el contenido orgánico del suelo hasta que se alcanza un nuevo equilibrio.

Otra variable importante de mencionar dentro de la materia orgánica es el carbono, ya que la mayor parte de los procesos productivos y actividades domésticas requieren del uso de energía derivada de combustibles fósiles. Esta combustión emite óxidos de carbono (principalmente CO₂) y otros gases que contribuyen al calentamiento atmosférico global. Loa *et al.* (1996) señalan que este proceso ha aumentado 3.5 veces en los últimos 50 años y que la cantidad de estos gases en la atmósfera se ve incrementada como consecuencia del cambio de uso del suelo.

Se estima que México emite alrededor de 3.70 toneladas de CO₂ por habitante, cifra que se encuentra 4.02 toneladas por debajo del promedio mundial (Carabias y Tudela, 2000). Alrededor de dos tercios de este volumen corresponden a los diversos procesos de combustión en los sectores energético, industrial, de transporte y de servicios. El resto, cerca de un tercio, se origina en los procesos de deforestación, cambio de uso de suelo y quema de leña.

Masera *et al.* (1997), estiman que alrededor de 20 millones de personas usan la leña en este país como principal energético, de aquí que todavía la quema de leña para uso doméstico siga siendo un elemento importante en la producción de CO₂. Masera *et al.* (1995) consideran que el sector forestal aporta casi el 40% de las emisiones totales de CO₂ y que el sector de generación de energía tiene la contribución más importante. De

aquí que mientras en México no se desarrollen fuentes alternas de energía (energía eléctrica) no se mejorará el balance de carbono.

Los bosques y selvas capturan, almacenan y liberan carbono como resultado de los procesos fotosintéticos, de respiración y de degradación de materia seca. El saldo es una captura neta positiva cuyo monto depende del manejo que se le dé a la cobertura vegetal, así como de la edad, distribución de tamaños, estructura y composición de ésta. Este servicio ambiental que proveen bosques y selvas como secuestradores de carbono (sumideros) permite equilibrar la concentración de este elemento, misma que se ve incrementada debido a las emisiones producto de la actividad humana. En un análisis preliminar para México, Bellón *et al.* (1993) Asumieron que manteniendo las áreas naturales protegidas, realizando un manejo de los bosques de manera sustentable en las áreas comerciales, reforestando las áreas forestales degradadas se podía llegar a niveles de captura de carbono en dichas zonas del orden de 3,500 a 5,400 millones de toneladas en un periodo de 100 años, lo que equivale a una captura anual, bajo este escenario hipotético, de 35-54 millones de toneladas de carbono por año. El concepto de captura de carbono normalmente integra la idea de conservar los inventarios de este elemento que se encuentran en suelos, bosques y otro tipo de vegetación, y donde es inminente su desaparición así como el aumento de los sumideros de carbono (aditividad) a través del establecimiento de plantaciones, sistemas agroforestales y la rehabilitación de bosques degradados sólo por mencionar algunos ejemplos en los que la vegetación es usada como sumidero.

3.4 Regeneración vegetal después del fuego

Acorde con Odum (1980), la sucesión ecológica puede definirse en términos de los parámetros siguientes: 1) es un proceso ordenado de desarrollo de la comunidad que comprende cambios en la estructura de las especies y en los procesos de ésta con respecto al tiempo; es un cambio previsible; 2) resulta de la modificación del medio físico, pese a que el medio físico condiciona el tipo y la velocidad del cambio, y pone a menudo límites a la posibilidad de desarrollo; y 3) culmina en un ecosistema estabilizado en el que se mantiene por unidad de corriente disponible, un grado máximo de biomasa y de función simbiótica entre organismos. La sucesión primaria es iniciada en un área desnuda en la que no ha habido vegetación anteriormente (retiro de glaciares, nuevas islas, etc.). La sucesión secundaria resulta cuando una sucesión es interrumpida por incendios, aprovechamientos, u otros disturbios que destruyen las principales especies de una comunidad establecida.

Odum (1980) puntualizó que los bosques de muchas regiones tienen composiciones de especies y estructuras de diferentes edades que son el resultado de disturbios forestales, este autor dividió a los disturbios en cuatro etapas fisonómicas que son: 1) iniciación de la masa. Los árboles de la nueva masa invaden el espacio de crecimiento liberado por el disturbio; 2) crecimiento; 3) exclusión de troncos; usualmente se presentan después del cierre de copas, cuando los nuevos árboles son excluidos y hay una estratificación vertical entre especies; 4) reiniciación del renuevo; arbustos y regeneración avanzada reinvasen el sotobosque, este muere gradualmente y el sotobosque (regeneración) tiende a reemplazarlo lentamente.

3.5 Recolonización de las localidades quemadas

En varias especies se incrementa el esfuerzo reproductivo en los años que siguen al incendio, como en muchos zacates y especies de la familia Liliáceas. Martín (1963), clasificó a las plantas que se regeneran luego de un incendio, acorde con su respuesta de floración:

1) Especies que florecen inmediatamente después del siniestro, y no lo hacen, o rara vez en otras épocas, como *Cyrtanthus contractus*, *Androcymbium leucanthum* y algunas otras especies de las familias *Orchidaceae* e *Iridaceae*.

2) Especies que florecen en abundancia poco después del incendio, y con menos frecuencia posteriormente, como *Washingtonia pyramiddata*.

3) Especies en las que la floración no puede ocurrir inmediatamente después del fuego, pero es promovida, en comparación con áreas no quemadas que florecen al segundo y tercer año, como *Restio triticeus*.

4) Especies donde la floración es disminuida luego del siniestro, y regresa a la normalidad años después, como *Phyllis axillaris*.

5) Especies neutrales al fuego, como *Dierama pendulum*.

La estimulación de la floración en el arbusto del género *Xanthorrhoea*, se considera se debe a una respuesta por el cambio de temperatura (las superficies oscuras, como las que deja un incendio, absorben más calor del sol, que las superficies de otros colores),

o a la reducción de la competencia por la luz, humedad y nutrimentos, pero no se descarta que el etileno, presente en el humo de los incendios, estimule la floración. (Uggla, 1974).

3.6 Efectos del fuego en las propiedades físicas del suelo

Uno de los cambios físicos más importantes es la disminución y/o desaparición de la capa orgánica superficial que está formada por materiales vegetales en descomposición. La vegetación con sus diferentes estratos, arbórea, arbustiva y herbácea, es la principal protectora del suelo contra la acción de la erosión; sin embargo, por efecto del fuego puede ser eliminada por completo, esto afecta la capa de materia orgánica del suelo. Como consecuencia el suelo queda expuesto a la erosión del viento y la lluvia. Al no haber vegetación, el agua de lluvia no es retenida, lo que evita su infiltración al subsuelo y la formación y abastecimiento de mantos freáticos. (SEMARNAT, 2000).

Por otra parte, el humus es un excelente aislante térmico, pues cuando la temperatura superficial es de 1,150 °C, la temperatura a sólo tres cm de profundidad fue menor a 500 °C; además, después del paso de las llamas, el pH y el contenido de calcio, potasio y fósforo del suelo se incrementa marcadamente (Uggla, 1974).

De la energía radiante que llega a la superficie de la tierra solo el 1% es aprovechado por las plantas transformándola en energía química a través del proceso de fotosíntesis,

la cual a su vez es convertida en energía calorífica y luminosa mediante la acción del fuego (Martín, 1963).

Según Fassbender, (1975), en el momento de un incendio se desarrollan altas temperaturas en la zona de contacto entre los materiales quemados y el suelo y se registran temperaturas de 200, 60 y 40 °C en profundidades de 3, 10, y 20 cm respectivamente. Además indico que en la zona de incineración se alcanzan temperaturas arriba de 400 °C. En algunos trabajos del Applied Scientific Reserch Corporation of Thailand (Fassbender, *et al.*, 1975) que realizaron en Tailandia se registraron temperaturas de 550 °C en la superficie del suelo al quemar restos vegetales bastante secos y apilados; sin embargo, con la profundidad del suelo disminuye notablemente la temperatura y a los 4 cm se alcanzan la temperatura original.

Según Martín (1963), la temperatura varía en la superficie del suelo de acuerdo al material quemado, a su naturaleza (hojas, tallos y ramas), al grado de humedad (tamaño de apilamiento), a las condiciones del viento (dirección y velocidad) y a las condiciones del suelo (contenido de humus y grado de humedad). La exposición, inclinación y longitud de la pendiente y la superficie quemada, son otros factores que influyen decisivamente en las temperaturas que se alcanzan en el suelo y el aire (Barney *et al.*, 1984). En todo caso, las temperaturas alcanzadas sobrepasan los límites de susceptibilidad biológica; una ola de calor de corta duración arriba de 100 °C o temperaturas de larga duración entre 60 y 80 °C causan la esterilización del medio ambiente.

Las temperaturas en la superficie mineral del suelo después de un incendio son variadas. Barney *et al.* (1984) reportan temperaturas que varían de 83.3 °C a 682.2 °C para cargas de combustible de 1 732 a 7 873.6 ton/ha, durante un incendio de pastizal. Los investigadores han demostrado la ocurrencia de bajas temperaturas en la capa de humus en comparación con las que ocurren en la superficie del suelo. Un buen ejemplo consiste en que mientras la temperatura en la superficie del suelo era de 540 °C durante 20 segundos, en los 3 cm de profundidad la capa de humus tuvo una temperatura de 15 a 20 °C después de de 30 minutos (Uggla, 1974). En realidad, la capa de humus tiene la peculiaridad de funcionar como un aislante térmico, evitando que las altas temperaturas ejerzan efectos negativos en las subsiguientes capas del suelo (Viro, 1974). Es importante señalar, que durante una quema o incendio forestal siempre ocurre una condensación de la humedad del suelo, favoreciendo las características térmicas de la capa de humus.

3.7 Efecto del fuego en las propiedades químicas del suelo

El efecto de quemas de baja intensidad en algunas propiedades químicas de suelos forestales, mencionado por Aguirre (1978), citados por Rodríguez *et al.*, (2002), quienes refieren algunas características de los suelos Andosoles mólicos, de textura franco arenosa, ricos en materia orgánica, ácidos (pH = 5.5) a neutros (pH = 7), ricos en nitrógeno y fértiles, que el fuego a baja intensidad no provocó cambios significativos de pH, pero sí se registró una pequeña pérdida de nitrógeno por volatilización. El fósforo aumentó del intervalo de trazas a 5.85 ppm, hasta 1.57 a 7.42 ppm; el calcio

aumentó del intervalo de I, 755 a 3,406 ppm, hasta 2,145 a 3,900 ppm; también refieren aumentos en potasio, magnesio y un ligero incremento en sodio.

Después de un incendio la acidéz disminuye, debido a que las cenizas contienen elementos básicos; ese cambio está en función de la cantidad y contenido de bases en las cenizas, así como de la textura y contenido de materia orgánica del suelo (Pritchett, 1986). Por su parte Douglas y Ballard (1971); citados por Aguirre (1981), detectaron el cambio de pH ácido a alcalino en un bosque de *Abies lasiocarpa* y *Tsuga mertensiana*. En términos generales, el pH aumenta después de la quema y temporalmente (20 ó 25 años). Dicho cambio se manifiesta principalmente hasta los 10 cm de profundidad debido a la liberación de calcio y magnesio.

El fósforo, potasio, calcio y magnesio, se incrementan después de un incendio, llegando a perdurar hasta 5 ó más años. A diferencia del nitrógeno total y el azufre que disminuyen, pues están altamente ligados a la materia orgánica (Pritchett, 1986). Dicha pérdida es prácticamente insignificante, puesto que los microorganismos tienden a fijar nuevamente nitrógeno de la atmósfera, aunado a la acción vertedora de la lluvia. La volatilización del nitrógeno esta altamente relacionada con la intensidad del incendio, dado que es proporcional al peso de la materia seca en suelos que sustentaban *Pseudotsuga menziesii*, denotando cero pérdidas en suelos calentados a 200 °C, en un 25% de la pérdida a 300 °C y una pérdida del 64% a 700 °C.

3.8 Efecto del fuego en las propiedades biológicas del suelo

Con relación al impacto biológico de los incendios forestales sobre los suelos, se sabe que la exposición a temperaturas altas en un lapso mayor de 10 minutos es capaz de eliminar a los hongos del suelo, así como a los protozoarios y a algunas bacterias, que son los encargados de desintegrar los materiales vegetales. En la parte biológica se ha encontrado que los actinomicetos, que constituyen el 30% de los organismos del suelo, son afectados por el fuego de manera similar que las bacterias. La relación bacteria-actinomicetos se mantiene estable en áreas no quemadas y quemadas ligeramente, pero aumenta mucho en las quemadas severamente (Ahlgren, 1974).

Un aumento en la temperatura (100 °C durante una hora) produce una disminución considerable en la cantidad de bacterias, seguido de un rápido incremento, durante los siguientes cuatro meses apartir de la quema debido a que la acides se corrige y todavía hay nitrógeno disponible (Pritchett, 1986).

Los actinomicetos son organismos heterótrofos en transición morfológica entre bacterias simples y hongos filamentosos. Los cuales responden al fuego de manera similar a las bacterias. Los cambios en las poblaciones de bacterias, actinomicetos y hongos son evidentes en los primeros 2 a 5 cm de la superficie del suelo. Se encuentran incrementos en microorganismos, posiblemente debido a la repentina disponibilidad de nutrientes minerales, aumento del pH, esto último puede proveer un ambiente propicio para el desarrollo de bacterias fijadoras de nitrógeno y así dar un incremento inmediato a la disponibilidad del nitrógeno, de manera amplia y eficiente (Pritchett, 1986).

Los hongos descomponedores se asocian a las capas F y H de la cobertura forestal y se aprecian con facilidad en el humus, un incendio severo afecta en gran medida a la población de hongos (Pritchett, 1986); todo ello debido a que después de la quema, incrementa el pH y baja la proliferación de éstos. El principal factor que afecta la cantidad de micorrizas es la fertilización, la cantidad de luz y la cantidad de inóculo disponible (Marx, 1977; citado por Pritchett, 1986). Una quema favorece su desarrollo, puesto que aclara el dosel y fertiliza el suelo; aunque un incendio muy severo, que ocasione la muerte de yemas o las debilite al grado de limitar el traslado de carbohidratos solubles a las raíces, es un factor limitante para las ectomicorrizas.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se desarrolló en el Municipio de Zacualtipán, Hgo, (Figura 2) en un área incendiada de forma natural dentro de un bosque de clima templado húmedo, en el predio “Tres Fracciones de Fondones” con vegetación dominante de *Pinus patula*. Este incendio ocurrió el 15 de abril del 2005

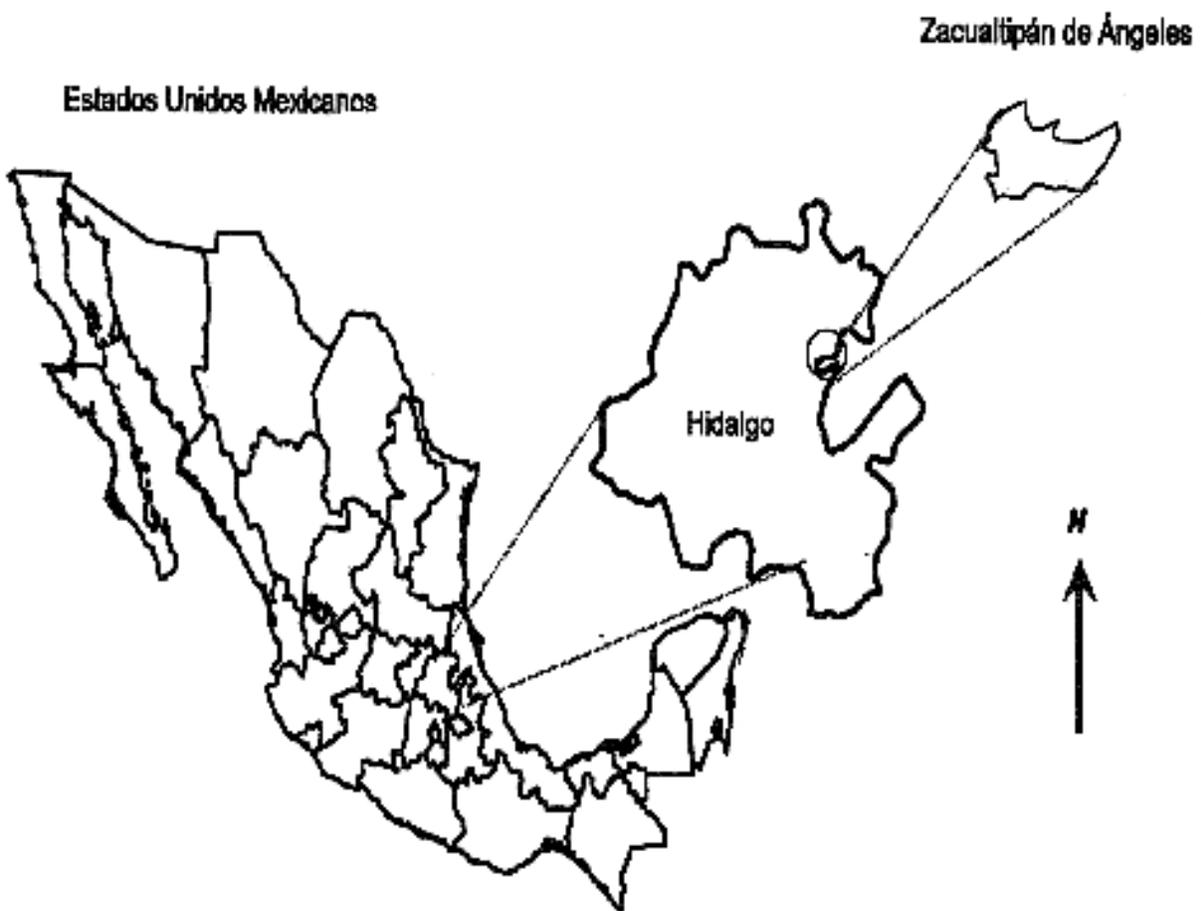


Figura 2. Localización del municipio de Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo.

4.1 Delimitación del área de estudio

Con la ayuda de un GPS marca GARMIN 12 XL se delimitó el área de estudio dentro del predio conocido como “Tres Fracciones de Fondones”. Que comprende las siguientes coordenadas geográficas $20^{\circ}37'20''$ de Latitud Norte y $98^{\circ}40'00''$ de Longitud Oeste y una altitud de 1984 msnm. Una vez delimitada el área, se ubicaron dentro de la zona quemada cuatro parcelas en forma de cuadro de 25 m^2 cada una, distribuidas aleatoriamente.

Las parcelas fueron georeferenciadas y en cada vértice se delimitaron con estacas de madera. Fuera del área quemada se ubicó una quinta parcela con las mismas dimensiones, que se utilizó como testigo para contrastar las variables del estudio en ambos ambientes (Figura 3).

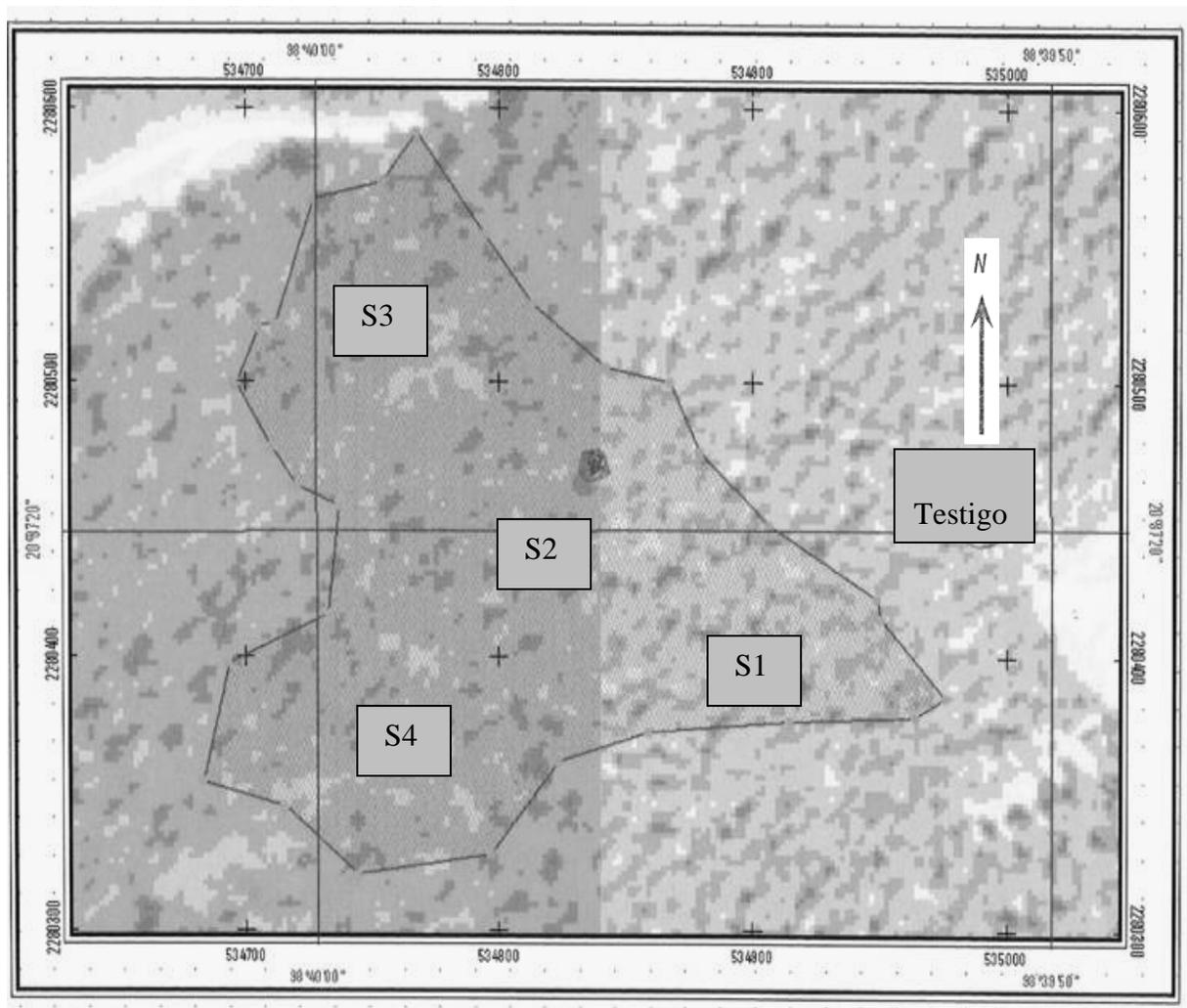


Figura 3. Localización de las parcelas dentro del área quemada y el testigo.

4.2 Muestreo del suelo y vegetación

Una vez localizadas las parcelas en la zona quemada y no quemada, se ubicaron cuatro puntos dentro de la parcela donde se tomó una muestra de suelo. Con el empleo de una barrena muestreadora se hicieron las tomas a dos profundidades, 0-5 y 5-30cm. Las muestras para cada profundidad se mezclaron haciendo una muestra compuesta, de acuerdo a Etcheveres, (1998); esta muestra se llevó al laboratorio para secarla y hacer los análisis físicos y químicos respectivos.

Además en cada parcela se realizó una colecta florística utilizando la técnica de Barrido (Guizar y Sánchez, 1991) para conocer la vegetación existente antes y después del incendio. Se colectaron todas las especies encontradas y se colocaron en una prensa para su secado y conservación y posterior identificación.

4.3 Contenido nutrimental e identificación de la vegetación

En las muestras colectadas algunas determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Suelos Forestales del Programa Académico de Ingeniería en Manejo de Recursos Forestales, del (ICAP) tales como: pH y materia orgánica; otras muestras fueron enviadas al Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados, donde se determinó su contenido nutrimental (nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio azufre, manganeso, cobre, zinc, hierro), siguiendo la metodología descrita por Etchevers (1988).

La identificación florística de las muestras colectadas se hizo de acuerdo con la metodología descrita por (Razo 2001); utilizando el herbario de la Oficina de Servicios Técnicos Forestales de Zacualtipán de Ángeles, Hgo. De esta manera se evaluó la presencia de la vegetación del área antes y después del incendio y durante un año.

Durante el desarrollo de la investigación se hicieron tres muestreos de suelo y dos de vegetación. El primer muestreo fue el 15 de mayo del 2005 e incluye las muestras del área quemada y área no quemada; el segundo muestreo se realizó el 13 de diciembre

de 2005 y el último fue el 25 de mayo del 2006. Esto con la finalidad de establecer la dinámica nutrimental del suelo y crecimiento de la vegetación.

Los datos arrojados por el laboratorio fueron analizados por el programa estadístico SAS versión 6.12, mediante el análisis de varianza y la comparación de medias con la prueba de Tukey (SAS, 1997); esto fue realizado en el Centro de Investigaciones Forestales.

4.4 Caracterización del área de estudio

El área que comprende el predio de Tres Fracciones de Fondones se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas 20°37'20'' de Latitud Norte y 98°40'00'' de Longitud Oeste y una altitud de 1984 msnm (Figura. 3).

4.4.1 Clima

El clima que predomina en el área de influencia del predio, es el C (W2) que equivale a un clima templado subhúmedo, con lluvias en verano,

Los meses de sequía son bien marcados de febrero a mediados de mayo, cuando inicia el período de lluvias que termina en septiembre; en invierno las temperaturas descienden en forma notable y comúnmente se presentan vientos fríos acompañados por lluvia (INEGI, 1992).

4.4.2 Suelo

El tipo de suelo predominante en el predio es el Feozem haplico y como secundario el Regosol calcarico, el cual es un suelo de color café-claro, de textura media y presenta una profundidad media de 20 cm. En general la capa de suelo es delgada y con cierta pedregosidad; la materia orgánica presente es regular (INEGI, 1992).

4.4.3 Fisiografía

El predio se ubica en la provincia fisiográfica “Sierra Madre Oriental” y la subprovincia localmente conocida como “Carso Huasteco”, que se caracteriza por una topografía accidentada con pequeñas mesetas en las partes altas. El Predio en particular se encuentra en la parte oriente de la Sierra localmente conocida como Zacualtipán y presenta una topografía ondulada con una pendiente media del 12% (INEGI, 1992).

4.4.4 Geología

En este predio se encuentran rocas sedimentarias y vulcanosedimentarias de la Era Mesozoica, período Jurásico superior predominando las calizas. Por la edad de la formación de las rocas y el tipo de vegetación que sustenta el suelo del predio es maduro, aunque poco profundo (INEGI, 1992).

4.4.5 Hidrología

El predio se ubica dentro de la Región Hidrológica del Río Pánuco (RH-26), Cuenca del Río Moctezuma (D) y subcuenca del Río Metztlán (V) (INEGI, 1992).

4.4.6 Tipos de vegetación

El tipo de vegetación presente es el de bosque de Pino-Encino, predominando el primero tanto en altura como en densidad. Las especies más frecuentes en el estrato arbóreo, en orden de importancia son *Pinus patula*, *Pinus teocote* y *Quercus spp.* Con alturas que van de los 20 a los 25 m y diámetros de 15 a los 45cm.

4.4.7 Fauna silvestre

De acuerdo con (INEGI, 1992) la fauna silvestre que existe en la zona es la que se enlista a continuación.

Paloma codorniz (*Oreopelia albifacies*)

Codorniz pinta (*Cyrtonyx montezumae*)

Huilota (*Zenaida macroura*)

Tlacuache (*Didelphys marsupialis*)

Conejo del este (*Sylvilagus floridanus*)

Ardilla arbórea (*Sciurus aureogaster*)

Comadreja (*Mustela frenata*)

Zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*)

Zorrillo manchado (*Spilogale ausgustrifons*)

Lagartija (*Cnemidophorus* sp.)

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis nutrimental del suelo antes y después del incendio

Los datos del Cuadro 1 muestran que el pH en las dos profundidades de área quemada y no quemada está clasificado como fuertemente ácido (León, 1991). Sin embargo, después del incendio el pH se incrementó casi en una unidad, por la aportación de cenizas y bases cambiables del material orgánico calcinado; esta diferencia no fue significativa.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo antes y después del incendio a dos profundidades.

Parámetro	Quemado		No quemado		DMS
	0-5 cm	5-30 cm	0-5 cm	5-30 cm	
pH	5.0 a	4.7 a	4.1 a	4.0 a	3.49
CE (dS m ⁻¹)	0.3 a	0.08a	0.16 a	0.08 a	0.34
Ceniza (%)	71 b	90.5 a	52.0 c	88.0 ab	17.49
C.O (%)	16.9 ab	5.8 b	27.8 a	6.7 b	11.65
M.O. (%)	29.3 ab	9.9 b	48.0 a	11.6 b	19.39
N (%)	0.6 b	0.17 d	0.7a	0.18 c	0
P (ppm)	41 a	13.5 a	22 a	13.0 a	95.71
K (Cmoles ⁺ Kg ⁻¹)	0.1 a	0.25 a	0.6 a	0.4 a	2.16
Ca (Cmoles ⁺ Kg ⁻¹)	9.8 a	3.1 bc	6.7 ab	1.8 c	4.24
Mg (Cmoles ⁺ Kg ⁻¹)	2.9 a	0.9 a	2.2 a	0.7 a	3.49
S-SO ₄ (ppm)	16.0 a	8.5 a	6.0 a	6.0 a	89.9
Na (Cmoles ⁺ Kg ⁻¹)	0.2 a	0.05 a	0.1 a	0.2 a	1.74
Fe (ppm)	53 a	99.0 a	65.0 a	116 a	161.44
Cu (ppm)	0.2 a	1.1 a	0.3 a	0.5 a	5.51
Zn (ppm)	3.3 a	1.8 a	2.8 a	1.5 a	11.87
Mn (ppm)	138.0 a	95.0a	69.0 a	40.0 a	162.5

Medias con la misma letra en cada fila son estadísticamente iguales, según Tukey P ≤ 0.05.

La salinidad medida por la conductividad eléctrica (CE) indica que los efectos de las sales son nulos según la clasificación de Rodríguez *et al.* (2002), en ambas condiciones sin diferencia significativa. La parte superficial del suelo tiene una mayor salinidad; sin embargo, el contenido encontrado no se considera perjudicial para el crecimiento de la vegetación.

La ceniza muestra una tendencia a incrementar de 52 a 71 % y 88 a 91 % a las profundidades de 0-5 y 5-30 cm respectivamente, con el paso del fuego; estadísticamente es significativo; sin embargo, se observó que en la profundidad de 0 a 5 cm se tiene la mayor concentración de cenizas, y este suceso se debe a que al quemarse la materia orgánica todos los residuos fueron depositándose sobre el suelo acumulándose en mayor cantidad que a mayor profundidad.

En el caso de la materia orgánica (M.O.) y carbono orgánico (C.O.) el Cuadro 1 presenta valores que de acuerdo con la clasificación de Tavera (1985) corresponden a niveles muy ricos. La superioridad en el contenido de las dos variables, es notoria en la parte superficial del suelo antes del incendio, siendo superior su contenido en 64% para MO y CO a la profundidad de 0-5 cm y del 17% para las mismas variables a la profundidad de 5-30 cm, respecto al área quemada. Esta variable presenta diferencia significativa.

Como es sabido en los ecosistemas forestales la MO es producto de la descomposición de los residuos orgánicos conocido como mantillo y es ésta la fuente importante de nutrientes para los árboles y la vegetación en general.

Debido al reciclaje de los residuos orgánicos al descomponerse desprenden importantes cantidades de carbono orgánico que es atrapado por los microorganismos descomponedores; sin embargo cuando ocurre un incendio, el CO es liberado en grandes cantidades en un periodo corto de tiempo, lo que provoca contaminación y puede contribuir al incremento del calentamiento global de la atmósfera. Para este caso en particular, se calculó la cantidad de carbono en Mg ha^{-1} desprendido del suelo, mediante la siguiente fórmula:

Carbono en el suelo (tC / ha) = CC * DA * P ; donde:

P = profundidad de muestreo en (cm.)

CC = Contenido de carbono (%)

DA = Densidad aparente (g/cm^3)

De este cálculo se encontró lo siguiente: contenido de carbono de $66.19 \text{ Mg C ha}^{-1}$ antes del incendio a una profundidad de 0-5 cm y un contenido de $49.15 \text{ Mg C ha}^{-1}$ después del incendio a la misma profundidad. Estos datos indican que hubo una pérdida del 25% de carbono ocasionada por el incendio al quemarse el residuo orgánico. La materia orgánica fue consumida en su totalidad por el incendio y como consecuencia se liberó el carbono contenido, lo cual es dañino para el ecosistema ya que estas cantidades de carbono liberado se suman al aumento del efecto invernadero.

Por otra parte en el área testigo, pero a una profundidad de 5-30 cm, se encontró una concentración de carbono de 216 Mg C ha^{-1} ; en la misma profundidad pero después del incendio se tuvo una concentración de $188.31 \text{ Mg C ha}^{-1}$, como es visible en este

caso, la liberación de carbono hacia la atmósfera fue de un 12.8%, y menor a lo liberado en la parte superior de estos suelos, puede ser posible a que el fuego no afecto de manera considerable en esta profundidad.

En un trabajo que se está efectuando de captura y almacenamiento de carbono en Zacualtipán de Angeles Hidalgo en el Ejido la Mojonera, se ha observado que a una profundidad de 0-15 cm el contenido de carbono es de 75.86 Mg C ha⁻¹ y a una profundidad de 15-30 cm es de 48.11 Mg C ha⁻¹ (Gregorio Ángeles, 2006; comunicación personal). La diferencia encontrada entre los contenidos de carbono en estos dos trabajos puede ser debido a que en el Ejido La Mojonera se está trabajando con arbolado joven, lo que indica que existe un porcentaje bajo de secuestro de carbono en esta área, por la edad del arbolado, mientras que en el predio Tres Fondones se tiene arbolado adulto lo que permite mayores contenidos de carbono. Otro factor importante es la profundidad de muestreo, que influye de manera importante en el contenido de carbono en el suelo.

El contenido de N en el suelo es consecuencia directa de los residuos orgánicos presentes sobre el suelo. Los valores del Cuadro 1, indican que el contenido de N en la profundidad de 0-5 cm de las dos áreas es muy rico (Tavera, 1985); sin embargo, el suelo del área no quemada presenta un contenido del 12%, estadísticamente superior al área quemada.

A la profundidad de 5-30 cm el contenido de N del suelo se clasifica como rico (Tavera, 1985). El contenido en el área no quemada es estadísticamente superior al contenido

del área quemada. Al efectuar la comparación entre las dos profundidades sobre el contenido de N, destaca mayor contenido de la parte superficial en 233% respecto a la parte inferior.

En el caso del fósforo (P) los datos del Cuadro 1 señalan que no existe diferencia significativa del contenido de este elemento en el suelo. Existe tendencia de incremento del contenido en la parte superficial (0-5 cm) después de haber ocurrido el incendio, dicho contenido de 22 a 41 ppm de P, se clasifica como alto (CSTPA, 1980). En la parte superficial del suelo del área quemada presenta contenido de P medio; y finalmente a la profundidad 5-30 cm en las dos áreas presentaron un contenido de P clasificado como bajo.

Este nutrimento no tiene diferencia estadística significativa, pero si una tendencia a disminuir conforme a la profundidad y esto se puede explicar por el hecho de que la mayor parte del fósforo se encuentra en la materia orgánica en la parte superficial del suelo. De hecho, la materia orgánica es la fuente principal de fósforo para los árboles en los suelos forestales y su disponibilidad para los árboles depende principalmente de la alcalinidad del suelo y la actividad de los microorganismos (William, 1991). Esto indica que el P presenta mayor disponibilidad a consecuencia de que el pH del suelo a la profundidad de 0-5 cm se incrementa de un valor de 4.1 antes del incendio a 5.0 después del incendio, propiciando mayor solubilidad.

El Potasio (K) en el área quemada y no quemada a ambas profundidades, tiene un contenido de muy bajo hasta medio según la clasificación de Etchevers *et al.* (1971); no

obstante, hay que tomar en cuenta que la variación de potasio en el suelo está influenciada por la intensidad de las pérdidas por la absorción del elemento por los árboles, la lixiviación y la erosión; sin olvidar que el efecto del fuego sobre el suelo del área de estudio tuvo un impacto en el pH, el cual se vio modificado, por lo que el potasio redujo su disponibilidad, explicando esto las bajas concentraciones de este elemento. Los rangos del contenido de potasio en el suelo del área quemada y a una profundidad de 0-5 cm van de 0.1 Centimoles.Kg⁻¹ y en la no quemada a una profundidad de 5-30 cm hasta de 0.6. La comparación de medias indica que no hay significancia estadística.

La comparación del contenido de potasio en el suelo, indica que existe mayor concentración de potasio en la parte superficial del área no quemada a una profundidad de 0-5cm con un valor de 0.6 Centimoles.Kg⁻¹ pero es menor en la profundidad de 5-30 cm con un valor de 0.4. Centimoles.Kg⁻¹. En el área quemada el contenido de K presenta un comportamiento inverso; menor contenido 0.1 Centimoles.Kg⁻¹ a la profundidad de 0-5 cm y mayor (0.25 Centimoles.Kg⁻¹) en la profundidad de 5-30 cm. A diferencia del fósforo, el potasio se encuentra en los suelos en cantidades medias (Etchevers *et al.*, 1971). Hay que notar que la variación de potasio en el suelo se debe a la extracción de este elemento por la vegetación, lixiviación y erosión en pequeñas porciones.

El Calcio (Ca) en el área quemada con una profundidad de 0-5 cm y con un valor de 9.8 Centimoles.Kg⁻¹ tienen una concentración media de calcio (Etchevers *et al.*, 1971) mientras que en la profundidad de 5-30 cm con un valor de 3.1 tiene una concentración

baja de este elemento. En el área no quemada con un valor de 6.7 Centimoles.Kg⁻¹ y una profundidad de 0-5cm la concentración de este elemento es media y a la profundidad de 5-30cm con un valor de 1.8 su concentración es muy baja. El análisis estadístico que se le aplicó a los contenidos de este elemento en el suelo se observó una significancia estadística. La disponibilidad de este elemento está en función del pH, en este caso en el suelo del área de estudio antes del incendio tiene un pH fuertemente ácido sin embargo después del fuego hubo un incremento del contenido de calcio propiciado por la incineración de los residuos orgánicos. León (1991), dice que el calcio del suelo en un intervalo de pH de 5.5 a 8.5 esta altamente disponible. Las cantidades encontradas de este nutrimento en el suelo muestran un comportamiento contrario a lo encontrado por (William, 1991) donde el reporta que los horizontes más profundos por lo general contienen más calcio que los horizontes superficiales.

El magnesio (Mg) en el área quemada a una profundidad de 0-5cm tiene una concentración media de 2.9 Centimoles.Kg⁻¹ de magnesio. En la misma área pero con una profundidad de 5-30cm vemos una concentración baja de 0.9 de magnesio. En el área no quemada y con ambas profundidades tenemos una concentración de baja a media de 0.7 y 2.2 de magnesio (Etchevers, 1971). El contenido de Mg no es significativo, pero existe la tendencia de incrementarse con el paso del fuego. Las perdidas de magnesio en el suelo son las mismas que para el calcio, con la diferencia que la lixiviación es de las pérdidas más importantes. Castellanos *et al.*, (2000) sugirieron que el agua de lluvia puede disolver 40 mg/l de óxido magnésico, para una pluviometría de 500- 1000 mm/año, las pérdidas de magnesio pueden alcanzar de 50-100Kg/ha al año, como óxido de magnesio.

Los datos reportados en el Cuadro 1 de este trabajo, muestran un mayor contenido de sulfatos en el suelo quemado respecto al suelo no quemado en ambas profundidades. En la parte superficial del suelo (0-5 cm) presenta un contenido de 16 ppm de sulfatos clasificada como moderadamente alta, mientras que en la misma área a una profundidad de 5-30 cm se tiene un valor de 8.5 ppm y se clasifica como contenido medio (castellanos *et al.*, 2000).

En el área no quemada, en ambas profundidades, se tiene un valor de 6.0 ppm y es considerado moderadamente bajo, y estadísticamente no tiene significancia. Esta tendencia que muestra el contenido de S-SO₄ se debe a que las cenizas de la materia orgánica se depositaron en la parte superior del suelo y la acumulación de estas cenizas incrementó el contenido de los sulfatos.

La colecta de suelo fue realizada en un bosque de pino en natural lo cual nos indica que no es fertilizado el suelo y por tal motivo la concentración de sodio es de 0.2 a 0.5 y de 0.1 a 0.2 Centimoles.Kg⁻¹ en ambas profundidades respectivamente y se considera muy baja la concentración de sodio en el suelo y no hay consecuencias con el desarrollo de la vegetación a consecuencia de este elemento.

El Cuadro 1 muestra los contenidos de hierro (Fe) en el suelo y destaca un mayor contenido de este micronutriente en el área no quemada respecto a la quemada; en todos los casos tiene un contenido adecuado de acuerdo con Viets y Linsay (1973). No existe significancia entre los contenidos. Un apropiado contenido de materia orgánica en el suelo es favorable para el aprovechamiento del hierro por los árboles pero se

debe tener en cuenta que en el área de estudio el efecto del fuego fue moderado lo cual explica que no tuvo gran efecto negativo si no que simplemente se notaron pérdidas por consumo del hierro por la vegetación que sobrevivió al siniestro y por la erosión.

En el caso del Cobre (Cu) según Viets y Lindsay, (1973) se tiene un adecuado contenido de este elemento en el suelo que va de 0.2 a 0.5 ppm, se puede observar que el pH juega un papel muy importante para la disponibilidad de este elemento, si en el suelo se tiene un pH moderadamente ácido se puede entender que el cobre se encuentra pobremente disponible, no hay significancia estadística en la comparación de medias de los resultados.

En lo que refiere al Zinc (Zn) los datos del Cuadro 1 indican un contenido adecuado en el suelo en estudio de acuerdo con Viets y Lindsay, (1973). El contenido de este elemento va de 1.5 a 3.3, y la comparación de medias no presenta significancia estadística. Navarro *et al.* (2000) mencionan de un comportamiento de mayor contenido en la parte superficial de muchos suelos, es decir, de los horizontes superficiales, contienen siempre más zinc que los horizontes bajos o inferiores; y esto concuerda con lo encontrado en este trabajo. Por otra parte estos mismos autores mencionan que de forma similar a lo que ocurre con el cobre o hierro, cuando el suelo es excesivamente ácido (pH inferior a 5), el zinc se encuentra más disponible, pero también puede experimentar pérdidas por lixiviación al incrementarse su solubilidad. Esto pudo ocurrir en el experimento ya que se observa un menor contenido a la profundidad de 5-30 cm.

El manganeso (Mn) presenta un contenido en el suelo de 40 vs 95 y 69 vs 138 ppm siendo mayor en el área quemada y a la profundidad de 0-5 cm. Este contenido según Viets y Linsay, (1973) se considera como adecuado. La comparación de medias no presenta significancia estadística. El pH elevado y la adición de la materia orgánica en elevadas proporciones según Navarro *et al.* (2000) son factores en conjunto importantes en la inmovilización del manganeso en el suelo. Por tanto, podría pensarse que cantidades altas de materia orgánica pueden favorecer el mantenimiento en el suelo de manganeso utilizable. Esto ha llegado a suponer que el manganeso se insolubiliza tanto por la formación de complejos húmicos estables, como por el efecto de competencia que pueden provocar los microorganismos del suelo.

5.2 Análisis nutrimental del suelo seis meses después del incendio.

Los resultados del muestreo de suelo que se realizó seis meses después del incendio se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Variación del contenido nutrimental y otros parámetros del suelo seis meses después del incendio a dos profundidades.

Parámetro	Quemado		No quemado		DMS
	0-5 cm	5-30 cm	0-5 cm	5-30 cm	
pH	4.64 a	4.63 a	3.88 a	4.10 a	2.8
Ceniza (%)	70.57 a	53.22 a	62.62 a	66.56 a	110.2
C.O (%)	17.5 a	27.0 a	22.0 a	19.0 a	63.64
M.O. (%)	17.5 a	7.2 a	27.6 a	7.8 a	117.22
N (%)	0.50 a	0.16 a	0.45 a	0.14 a	0.89
P (ppm)	55.0 a	13.0 a	8.0 a	4.0 a	385.22
S-SO ₄ (ppm)	4.5 a	2.0 a	6.0 a	3.0 a	15.29

Medias con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales, según Tukey $P \leq 0.05$.

El pH no tiene diferencia estadística significativa, pero se muestra fuertemente ácido en ambas profundidades del suelo quemado y no quemado (León, 1991). Es notable que el pH va regresando a como estaba en el área de estudio antes del incendio.

En el caso de la ceniza se continua con la misma tendencia la cual indica que en la parte superficial del suelo se encuentra la mayor concentración de cenizas esto probablemente continúe por el hecho de que en 180 días que transcurrieron después del incendio se ha suscitado poca erosión sobre el suelo, suficiente para desplazar las cenizas de este lugar, por ello los resultados no tienen diferencia significativa.

En el caso de la materia orgánica (M.O.) y carbono orgánico (C.O.) del Cuadro 2, en el área quemada y no quemada a ambas profundidades se tiene un porcentaje muy alto de (17.5 y 7.2) y (27.6 y 7.8) según Tavera (1985), sin diferencia estadística; lo cual hace pensar que los árboles que están en el área de estudio después del incendio continuaron formando suelo y aportando residuos orgánicos durante la estación de crecimiento, por lo que a los seis meses tienen contenidos altos de estas variables en el suelo. Aunque no hay significancia en los resultados, se tiene la tendencia de un contenido mayor de MO y CO del 36% y 20% respectivamente del área no quemada a la profundidad de 0-5 cm; en la profundidad de 5-30 cm para el CO del área quemada presenta 30% mayor contenido respecto al área no quemada.

El nitrógeno (N) en el área quemada con un valor de 0.16-0.5 en ambas profundidades y en el área no quemada con un valor de 0.45 y a 0-5 cm de profundidad, el porcentaje de este elemento es muy alto, (Tavera, 1985), mientras que en la profundidad de

5-30 cm del área no quemada el porcentaje es de 0.14 y este es considerado como contenido medio, aunque estadísticamente no tenga significancia. Esta característica que muestran los datos del Cuadro 2 posiblemente sea por que el pH del área de estudio quedó después del incendio moderadamente ácido con valores de 4.64 y 4.63 y el Nitrógeno necesita de este tipo de pH para poder encontrarse en la mejor disponibilidad.

En el fósforo de acuerdo con (CSTPA, 1980) en el área quemada con una profundidad de 0-5cm la concentración de este elemento es de 55.0 y se considera alta y en la misma área con una profundidad de 5-30cm la concentración de este elemento es de 13 y es media.

El área no quemada y con una profundidad de 0-5cm la concentración del fósforo es de 8.0 y se considera media y en el caso de la profundidad de 5-30cm la concentración de este elemento es de 4.0 y es baja, y no cuenta con significancia estadística; este elemento necesita de pH moderadamente ácido para estar disponible, lo que encuentra en suelo del área de estudio.

El contenido de sulfatos en el Cuadro 2 muestra de acuerdo con Castellanos *et al.* (2000) que en el área quemada a una profundidad de 0-5 cm se tiene un contenido de S-So₄ de 4.5 y se considera bajo; mientras que en la misma área pero a una profundidad de 5-30 cm. se tiene un contenido de S-SO₄ de 2.0 y es muy bajo; por otro lado en el área no quemada a una profundidad de 0-5 cm. el contenido de S-SO₄ es de 8.0 y es moderadamente bajo y en la misma área a una profundidad de 5-30 cm la

concentración del S-SO₄ es de 4.0 y es muy baja, y estadísticamente no tiene significancia.

5.3 Análisis nutrimental del suelo un año después del incendio.

En el cuadro 3 se muestra la variación de los nutrientes del suelo después de transcurrir un año del incendio.

El pH del área quemada en ambas profundidades tenemos un valor ácido. En el área no quemada en las dos profundidades el suelo se encuentra fuertemente ácido de acuerdo con (León, 1991), mientras que estadísticamente no hay significancia. Con el paso del tiempo es más notable que el pH tiende a regresar a la forma en la que se encontraba en el área de estudio antes del incendio (4.1 y 4.0).

Cuadro 3. Parámetros del suelo a un año después del incendio a dos profundidades.

Parámetro	Quemado		No quemado		DMS
	0-5 cm	5-30 cm	0-5 cm	5-30 cm	
pH	5.7a	5.25a	4.3a	4.8a	5.1264
CE (dS m ⁻¹)	0.085	0.045	0.11	0.03	0.1342
M.O. (%)	11.45bc	5.25c	26.3ba	29.0a	17.066
N (%)	0.35a	0.115a	0.51a	0.08a	0.9572
P (ppm)	96.35a	21.3a	16.3a	2.2a	375.81
S-SO ₄ (ppm)	36.5a	11b	5b	9b	9.4869

Medias con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales, según Tukey P ≤ 0.05.

En la Conductividad eléctrica (CE) los efectos de salinidad del suelo son casi nulos y no tienen significancia estadística. Esta característica posiblemente obedezca a que estos suelos del área en estudio no son fertilizados.

En el caso de la Materia Orgánica (M.O.) los datos del Cuadro 3 indican que el área quemada a una profundidad de 0-5 cm, el suelo tiene un valor de 11.45 y es muy rico en materia orgánica. En esta misma área pero con una profundidad de 5-30cm el suelo tiene un valor de 5.25 y es rico en materia orgánica. En el área no quemada y en las dos profundidades el suelo tiene los valores de 26.3 y 29.0 y es muy rico en materia orgánica de acuerdo con Tavera, (1985), en este caso los datos tienen una significancia estadística, la tendencia de estos resultados muy posiblemente este dada por que los pinos que no se afectaron por el incendio tiran acículas durante el año y forman hojarasca lo cual esta directamente relacionada con la generación de materia orgánica.

El Nitrógeno (N) no cuenta con una significancia estadística pero según los datos del Cuadro 3 en ambas áreas a una profundidad de 0-5cm y 5-30cm el porcentaje de este elemento es muy rico de acuerdo con Tavera (1985).

En el caso de este elemento con el transcurso del tiempo su contenido tiende a disminuir y esto muy posiblemente sea por que el pH va retornándose a como se encontraba antes del incendio, lo que afecta a la disponibilidad del nitrógeno; por otro lado el consumo de este elemento por parte de la vegetación existente es de igual forma un factor que reduce el contenido de nitrógeno en el área de estudio.

El Fósforo (P) en el área quemada y con una profundidad de 0-5cm, la concentración de este elemento es de 96.35 y se considera alta, en la misma área con una profundidad de 5-30cm el contenido en el suelo del fósforo es de 21.3 y es media. En el área no quemada y con una profundidad de 0-5cm el fósforo se encuentra en 16.3 y esta en forma media y en la profundidad de 5-30cm la concentración es de 2.2 y se considera baja, según (CSTPA, 1980) y los datos del fósforo en el Cuadro 3 no cuentan con una significancia estadística.

En este caso como el fósforo esta estrechamente ligado con la materia organica y sabemos que en este tercer muestreo fue hecho al año del incendio y que en este año se generó más, lo que sugiere que el contenido de este elemento se incrementa de igual manera conforme se genera más materia orgánica.

Los datos del Cuadro 3 indican que el contenido de sulfatos en el área quemada a una profundidad de 0-5 cm es de 36.35 ppm y es muy alto, en la misma área a una profundidad de 5-30 cm se tiene un contenido de 11.0 ppm y es medio de S-SO₄. En el área no quemada a una profundidad de 0-5 cm el contenido de S-SO₄ es de 5 y es bajo, mientras que en la profundidad de 5-30 cm el contenido de S-SO₄ es de 9 y es medio, estos valores clasificados de acuerdo con los valores reportados por Castellanos *et al.*(2000).

5.4. Dinámica Nutricional.

Una forma de poder constatar la variabilidad del contenido nutrimental en el suelo y otros parámetros fue monitorear la dinámica nutrimental durante un año. La Figura 4 indica que el dinamismo del nitrógeno en la profundidad de 0-5cm el cual tendió a disminuir en el tiempo, esta tendencia fue ocasionada por la volatilización del nitrógeno en forma gaseosa debido al fuego y por el consumo por parte de la vegetación existente después del fuego.

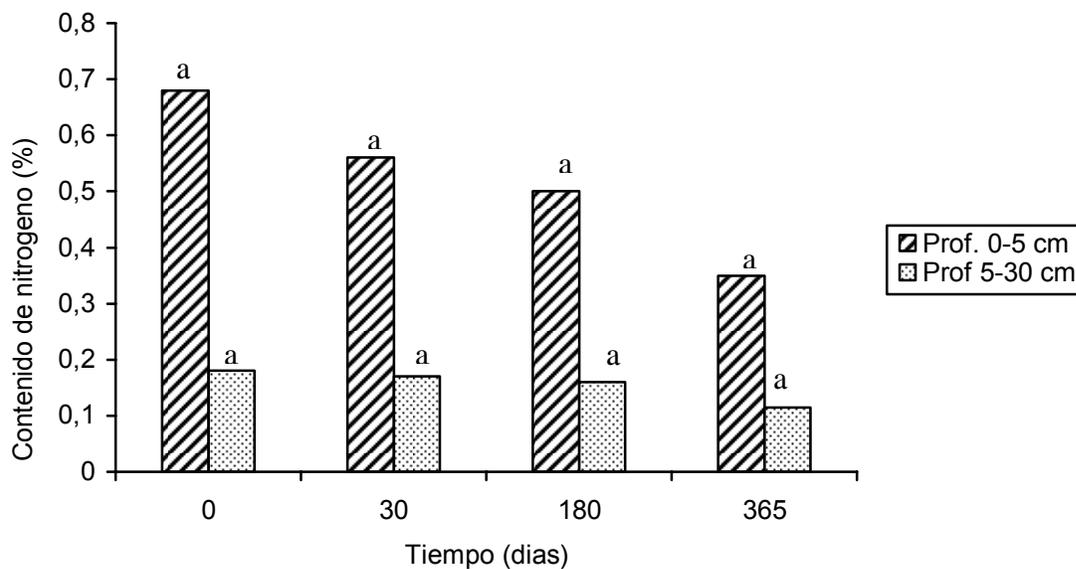


Figura 4. Contenido de nitrógeno en el suelo a diferentes profundidades y tiempo.

Mientras que en la profundidad de 5-30cm el nitrógeno se mantiene constante durante los primeros 180 días pero al año se notó una ligera disminución en su contenido. Esto concuerda por lo encontrado por Aguirre (1981) quien encuentra una pequeña pérdida

de nitrógeno por volatilización por fuego de baja intensidad. Sin embargo, lo obtenido tiene variación con lo reportado por Weston y Attiwill (1990) quienes confrontaron la dinámica del nitrógeno de dos suelos uno quemado y otro no quemado con diferentes intensidades (superficial y de copa) de troncos y de desechos, donde encontraron que el nitrógeno inorgánico total en los primeros 5cm de suelo se incrementa con la intensidad del fuego. Esto también lo reporta Maycotte (2002). Esta variación puede deberse a que en estos trabajos se analizó el nitrógeno inorgánico y en este trabajo se incluyó el nitrógeno total que incluye al orgánico e inorgánico.

En la Figura 5 se observa que la tendencia de el fósforo es la de incrementar a través de los días en la profundidad de 0-5 cm, mientras que en la profundidad de 5-30cm se mantiene constante, incrementando ligeramente al año de ocurrido el incendio. Esto se debe a la acumulación de materia orgánica en la parte superficial del suelo e incorporación de la misma.

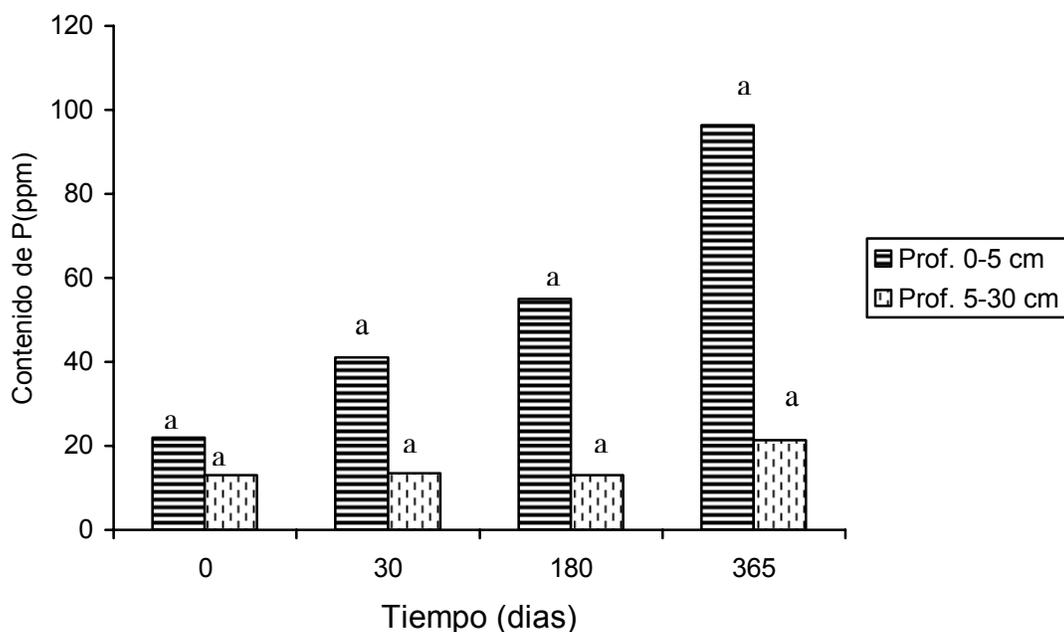


Figura 5. Contenido de fósforo en el suelo a diferente profundidad y tiempo.

Los resultados encontrados en este trabajo concuerdan con lo reportado por Aguirre (1978), donde observó que a una profundidad de 0-5 cm el contenido de fósforo es mayor en parcelas sujetas a quemas. Esta aseveración también fue confirmada por Rodríguez (1996) quien dice que el fósforo en el suelo se incrementa después del incendio.

La materia orgánica en ambas profundidades fue decreciendo conforme pasaron los días y esto muy probablemente fue ocasionado por la incorporación de la misma al suelo y la poca hojarasca que se adicionó al suelo en este tiempo transcurrido (Figura 6).

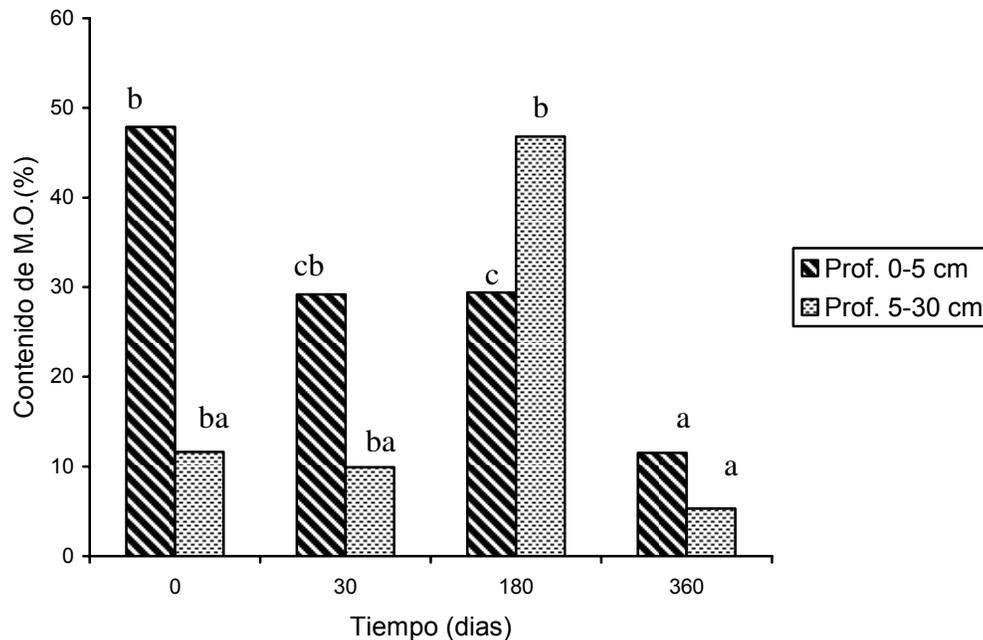


Figura 6. Contenido de materia orgánica en el suelo a diferente profundidad y tiempo.

Este trabajo concuerda con lo reportado por Perry (1994), donde encuentra que la materia orgánica después del incendio su tendencia es a disminuir.

La dinámica de los sulfatos contenido en el suelo se muestra en la Figura 7, indica que la profundidad de 0-5 cm se incrementó al transcurso del tiempo, mientras que en la profundidad de 5-30 cm se mantuvo constante hasta los ciento ochenta días después del incendio donde muestra una notable disminución de sulfatos debido a que fueron consumidos por los vegetales.

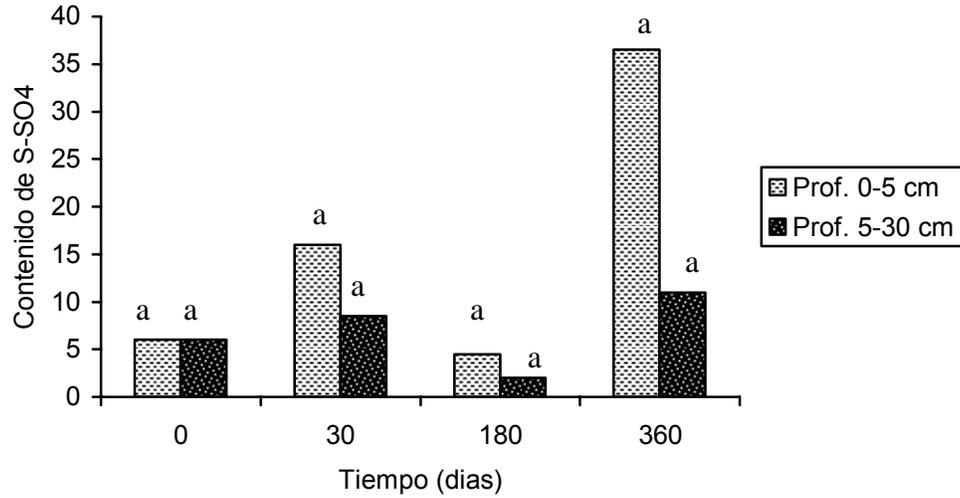


Figura 7. Contenido de sulfatos en el suelo a diferentes profundidades y tiempo.

A los trescientos sesenta días después del incendio la barra de 0-5 cm de profundidad muestra una alza; este suceso puede ser posible ya que en este tiempo los suelos empiezan con su ciclo de descomposición de MO y además ha caído hojarasca de la parte aérea.

En este caso si se presentaron cambios en el pH, se observa que antes del incendio el pH del suelo era ácido, pero conforme pasaron los días el pH se fue aproximado a valores más cercanos al neutro en ambas profundidades, esto debido a las cenizas depositadas en el suelo por la quema de los vegetales (Figura 8).

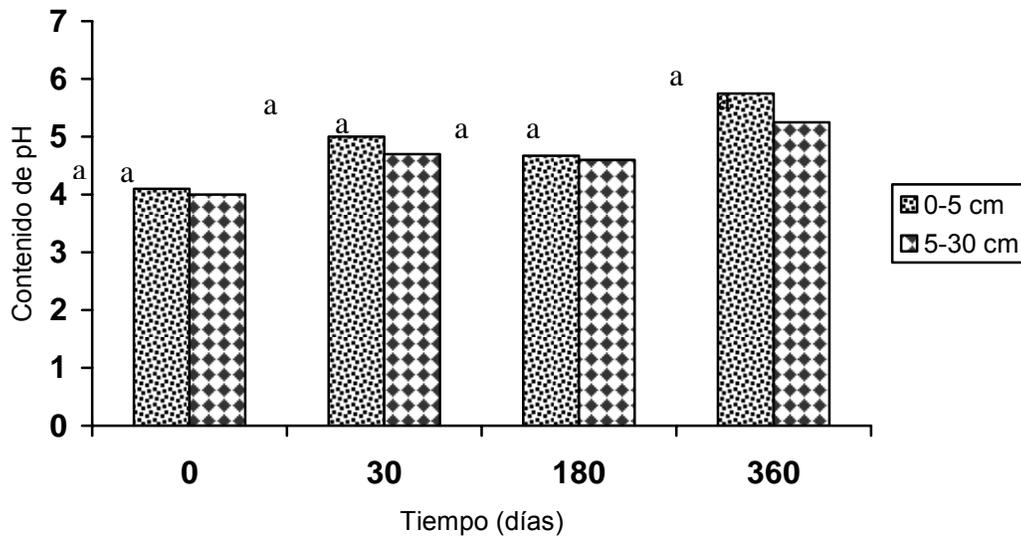


Figura 8. Contenido de pH en el suelo a diferentes profundidades y tiempo.

Estos resultados concuerdan con los presentados por León (1991) el cual establece que una variación en el pH del suelo esta en razón directa con la cantidad de combustible que es consumido por el fuego así como por la cantidad de sales básicas que son lixiviadas.

5.5. Dinámica de la regeneración y evolución de la vegetación natural.

El arbolado encontrado dentro del área de estudio cuenta con un diámetro entre 25 a 31 cm y una altura entre 19 a 24 m, por lo que corresponde a árboles adultos. Como se observa en Cuadro 4 el 100% del estrato arbóreo aparecieron en las colectas florísticas realizadas antes y 180 días después del incendio, esto quiere decir que este estrato no fue afectado por el fuego.

Cuadro 4. Especies vegetales encontradas en el área quemada y no quemada antes del incendio y 180 días después del incendio.

ESTRATO	ESPECIE	TESTIGO	30DDI	180DDI
Arbóreo	<i>Pinus patula</i>	*	*	*
	<i>Pinus teocote</i>	*	*	*
	<i>Quercus crassifolia</i>	*	*	*
	<i>Quercus rugosa</i>	*	*	*
	<i>Quercus spp.</i>	*	*	*
	<i>Agnus arguta</i>	*	*	*
	<i>Crataegus pubescens</i>	*	*	*
	<i>Quercus laurina</i>	*	*	*
Arbustivo	<i>Arbutus xalapensis</i>	*	*	*
	<i>Baccharis conferta</i>	*		
	<i>Cornus disciflora</i>	*	*	*
	<i>Vaccinium leucanthum</i>	*		
Herbáceo	<i>Rubus palmeri</i>	*	*	*
	<i>Senecio salignus</i>	*	*	*
	<i>Panicum xalapensis</i>	*		
	<i>Solanum hipspidum</i>	*		

	<i>Similax sp.</i>	*		
	<i>Oxalis alpina</i>	*		
	<i>Eryngium beecheyanum</i>	*		
	<i>Chimaphila umbellata</i>	*		
	<i>Pinnaropappus roseus</i>	*		
	<i>Piquería pilosa</i>	*		*
	<i>Eupatorium sp.</i>	*		*
	<i>Rubus schideanus</i>	*		
	<i>Gnaphalium americanum</i>			*
	<i>Conyza sp.</i>			*
	<i>Canavalia villosa</i>			*
	<i>Brickellia scoparia</i>			*
	<i>Cirsium pinetorum</i>			*
	<i>Geranium aristisepalum</i>			*
	<i>Salvia cardinales</i>			*
	<i>Stevia salicifolia</i>			*
	<i>Rubus schideanus</i>			*
	<i>Arctostaphylos arguta</i>			*

No tuvo el mismo comportamiento el estrato arbustivo ya que a los 30 y 180 días después del incendio, solamente el 50% de las especies sobrevivieron al fuego. El muestreo del estrato herbáceo a los 30 días después del incendio indicó que solo el 16% de las especies sobrevivieron al paso del fuego; y a los 180 días se encontraron estas mismas y aparecieron 10 nuevas especies (Cuadro 4), las cuales se denominan como pioneras. Estas especies pioneras aparecen cuando el fuego elimina las barreras que impiden la germinación de éstas, generando condiciones adecuadas para su desarrollo. El comportamiento de estas especies coincide con el estudio realizado por Puig (1991).

VI CONCLUSIONES

En este trabajo se puede concluir que el fuego de intensidad moderada afecta positivamente la disponibilidad de algunos nutrientes en el suelo como son: P, Ca, Mg, SO₄ Zn y Mn, además se incrementa el pH.

Existen nutrientes como el N, K, Fe y Cu que reducen su contenido en el suelo, este comportamiento también lo presentaron la materia orgánica y el carbono orgánico.

Por otro lado se observó que el fuego de intensidad moderada, no destruyó la vegetación arbórea. El estrato arbustivo presentó pérdida en un 50% de sus individuos y el estrato herbáceo tuvo una pérdida total de sus individuos, pero con el paso del tiempo se regeneraron y ploriferaron nuevas especies consideradas como pioneras.

VII LITERATURA CITADA

- Aguirre, B. C. 1978. Efecto del fuego en algunas características y propiedades de suelos forestales. Tesis profesional. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques, UACH. Chapingo, Edo. de México. 270p.
- Aguirre, B.C. 1981. Efectos del fuego en algunas propiedades físicas de suelos forestales. Publicación especial No. 5. DEIS Bosques. UACH. Chapingo, México. pp. 10, 27, 38-43.
- Ahlgren, C. F. 1974. The effect of fire on soil organisms. pp: 47-72 *In*: kozlowski, T. T.; ahlgren, E. C.(Eds.). Fire and ecosystems. Academic Press. New York.
- Barney, R. H.; fahnestock, R. G.; herbolwsheimer, G. W.; MILLER, K. R.; PHILLIPS, B. C.; PIEROVICH, J. 1984. Fire management. *In*: WENGER, K. F. (Ed.). Forestry handbook. John Wiley and Sons. New York. Pp:189-252.
- Becerra, M. A. 1999. Escorrentía, Erosión y Conservación de Suelos. 1ª ed. UACH, Chapingo, México. 375p
- Bellón, M.R., O.R. Masera y G. Segura 1993. Response options for sequestering carbon in Mexican forests. Reporte al F-7 International Network on tropical Forestry and Global Climatic Change, Energy and Environment Division, Lawrence-Berkeley Laboratory, Environmental Protection Agency, Berkeley.
- Carabias L., J. y F. Tudela A. 2000. "El cambio climático: una amenaza global". En: Primer Foro de Divulgación sobre Cambio Climático. SEMARNAP, México.
- Castellanos J.Z., *et. al.* 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Agua. Segunda Edición. Col. INCAPA. México. 226p.
- Countryman, Clive M. 1964. Mass Fires and Fire Behavior. USDA Forest Service Res. pp. PSW-19.
- CSTPA. Council on Soil Testing and Plant Análisis. 1980. Handbook on referente methods for soils testing. Athens, Georgia.
- Etcheveres, B. , J. D. , W. Espinoza G. , E. Riquelme . 1971. Manual de Fertilidad y Fertilizantes. 2ª . Edición Corregida, Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile.
- Etcheveres, B. , J. D. 1988. Análisis químicos de suelo y plantas. Vol. 1. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

- Fassbender, H. 1975. Experimentos de laboratorio para el estudio del fuego de la quema de restos vegetales sobre las propiedades del suelo. Turrialba. 25 (3): pp. 249-254.
- Giovanni, G. 1994: The effect of fire on soil quality pp. 15-17. *En: Sala, M y Rubio, J. L. (Eds). Soil erosion as a consequence of forest fires.* Geoderma Editions, Logroño, Pais.
- Guizar, N., E. y A. Sánchez V. 1991. Principales árboles del alto Balsas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 207p.
- INEGI, 1992. Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo. Aguascalientes, México. 134p.
- Letelier A. E. 1967. Manual de Fertilizantes para Chile. Banco del Estado, Santiago, Chile.
- León, L. A. 1991. Nueva Edafología Regiones Tropicales y Áreas Templadas de México Características y propiedades de los terrenos y su influencia agrícola. 2ª ed. Grupo Editorial Gaceta, México. 366p.
- Loa L. E., M. Cervantes A., L. Durand S. y A. Peña J. 1996. "Uso de la biodiversidad". pp. 104-153. *En: Conabio. La biodiversidad biológica de México. Estudio de país.* Conabio, México.
- Martin, R; E. 1963. A Basic Approach to Fire Injury of Tree Stem. Proc. Tall Timber Fire Ecology Conference. Tallahassee, Florida. USA. pp. 151-162.
- Masera, O., M.R. Bellón y G. Segura 1995. "Forest Management Options for Sequestering Carbon in Mexico." *Biomass and Bioenergy* 8(5): 357- 367.
- Masera, O., M.R. Bellón y G. Segura 1997. "Forestry Options for Sequestering Carbon in Mexico: Comparative Economic Analysis of Three Case Studies" *Critical Reviews in Environmental Science and Technology.*
- Maycotte, M. C. C. 2002, Condiciones microambientales y fisiológicas en brinzales de *Pinus patula* posterior a un incendio. Tesis doctoral. Colegio de Postgraduados. 4-79p.
- Moreno D. , R. 1978. Clasificación de pH del suelo, contenido de sales y nutrientes asimilables. INIA-SARH; México, DF.
- Moreno D. , R. 1978. Clasificación de pH del suelo, contenido de sales y nutrientes asimilables. INIA-SARH; México, DF.

- Perry, Jr. J. P. 1991. The pines of México and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231p.
- Perry, D. A. 1994. Forest ecosystems. The Johns Hopkins University Press Ltd., London. 649p.
- Pritchett, L. W. 1986. Suelos Forestales Propiedades, Conservación y Mejoramiento. Traducido por José Hurtado Vega. Limusa México. 634p.
- Razo, Z. R. 2001. Programa de Manejo Forestal Maderable Persistente del C. P. "Tres Fracciones de Fondones"
- Richards, L. A. 1962. Diagnóstico y rehabilitación de suelos sódicos. Traducción al español por N Sánchez D. et al Instituto Nacional de investigaciones Agrícolas.
- Rodríguez, T. D. A. 1996. Incendios Forestales. Universidad Autónoma Chapingo-Mundi Prensa. México. 630p.
- Rodríguez, F. , H. y J. Rodríguez A. 2002. Métodos de Análisis de Suelos y Plantas. Trillas. México. 196p.
- Simón, N. , B. y G. Navarro G. 200. Química Agrícola, El suelo y los Elementos Químicos Esenciales Para La Vida Vegetal. ed. Mundi- Prensa. México. 487p.
- Odum, E. P. 1980. Ecología. 3^a. ed. Interamericana pp.14
- Ortiz V, B., C. A. Ortiz S. 1990. Edafología. 7^a. ed. UACH, Chapingo, México. 394p
- SAS Institute, Inc. 1997. SAS/STAT user's guide: Statistics Release 6.12. Cary, NC.
- Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT). 2000. Textoguía Forestal. Ed. SEMARNAP, México. pp. 71-89.
- Tavera y S. G. , G. 1985. Criterios para la interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para las áreas de asistencia técnica. Publicación 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Delegación La Laguna, Matamoros, Coahuila.
- Tolhill, J.C. and Shaw, N.H. 1965. Temperatures under fires in buch spear grass pastures of south-east Queensland. Journal Australian Institute of Agricultural Sciences 34: 94-97.
- Uggla, E. 1974. Fire ecology in Swedish forest proc. Tall Timbers fire ecology conference No. 13. pp. 171-190.

- Viro, P. J. 1974. Effects of forest fire on soil. *In*. Kozlowski, T.T. y E. Ahlgren, (eds.). Fire and Ecosystems. Academic Press. New York. 354p.
- Viets, F. G. y W. L. Lindsay. 1973. Testing soils for zinc, copper, manganese, and iron, pp. 153-172. *In* L. M. Walsh y J. D. Bealon (eds). Soil testing and plant analysis, revised edition. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. USA.
- Weston, C. J.; ATTIWILL, P. M. 1990. Effects of fire and harvesting on nitrogen transformations and ionic mobility in soils of Eucalyptus regnans forests of southeastern, Australia. *Oecología* 83p.
- West, D. C.; Shugart, H. H. and Botkin, D. B. 1981 Forest succession, concepts and applicatios. Springer-Verlag, New York. 517p.
- Wells, C. G. 1981. Some effects of brushfires on erosion processes in Coastal Southern California. *En*: Erosion and sediment transport in Pacific Rim Step lands. *IASH*. Púb. N 132, Christchurch.
- William, L. P. 1991. Suelos Forestales, Propiedades, Conservación y Mejoramiento. ed. Limusa. México.595p.
- Wright, H. A. 1970. A method to determine heath-caused mortality in bunchgrass. *Ecology*. 587p.

www.bse.uy/almanaque/2001/naturaleza.com

[www.conafor.gob/programas nacionales forestales/ incendios.com](http://www.conafor.gob/programas_nacionales_forestales/incendios.com)

<http://www.cueto-lopez.com/incendios.php>