



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

División De Ciencias Forestales

**EFFECTO DE LAS QUEMAS PRESCRITAS EN EL CRECIMIENTO EN
ALTURA EN *Pinus hartwegii* Lindl.**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA

LORENA ÁNGEL ANDRÉS



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
ORIGINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Chapingo, Estado de México, Diciembre de 2008.



EFFECTO DE LAS QUEMAS PRESCRITAS EN EL CRECIMIENTO
EN ALTURA EN *Pinus hartwegii* Lindl

TESIS REALIZADA POR LORENA ÁNGEL ANDRÉS BAJO LA DIRECCIÓN DEL COMITÉ
ASESOR, LA CUAL HA SIDO APROBADA POR EL MISMO Y ACEPTADA COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS
FORESTALES

DIRECTOR:



Dr. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

ASESOR:



DR. HUGO RAMÍREZ MALDONADO

ASESOR:



M.C. ALEJANDRO CORONA AMBRIZ

Chapingo, Texcoco, Estado de México.
Diciembre de 2008.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se ejecutó bajo el patrocinio y soporte del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A. C. (FMCN) y de la United States Department of Agricultura Forest Service (USFS).

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme proporcionado el apoyo económico, con el cual pude realizar mis estudios de posgrado contribuyendo con mi preparación profesional.

A la Universidad Autónoma Chapingo, a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado, por permitirme ingresar al Programa.

A la División de Ciencias Forestales por permitirme ser parte de su comunidad y aprender de muchos de sus docentes así como de mis compañeros. Por darme la oportunidad de continuar con mi preparación tanto profesional como personalmente.

Al Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, por su gran disposición de compartir sus conocimientos y experiencia en la realización de este trabajo, y por ser un guía en mi proceso de formación y aprendizaje.

Al Dr. Hugo Ramírez Maldonado por disposición y cordialidad para la revisión de este trabajo, por sus sugerencias para la mejora del mismo.

Al M. C: Alejandro Corona Ambriz, por su disponibilidad en la revisión de este trabajo, así como por sus aportaciones y recomendaciones.

Al Sr. Gerardo Mendoza Ángeles por su valiosa colaboración y por su apoyo invaluable.

A la Comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, por las facilidades brindadas para la realización del presente trabajo

DEDICATORIA

A Dios por acompañarme en cada momento y por haberme dado la sabiduría y la fortaleza para que fuera posible alcanzar este triunfo.

A mi Madre que no existen palabras que puedan describir su amor incondicional, por su dedicación y empeño por ayudarme a ser una persona mejor cada día.

A mi Padre por enseñarme a luchar en la vida para superarme día a día y por su apoyo incondicional.

A mi Hermana por su cariño tan especial, comprensión y confianza.

A mis sobrinos, por recibirme cada día con un abrazo y un beso, para calmar mis preocupaciones.

A mi querido Micañ por su amor, alegría, constante apoyo y estímulo, a lo largo del tiempo que hemos compartido juntos, gracias mi amor.

A la Maestra Beatriz Aguilar Valdéz y el Dr. Tulio Méndez Montiel por todo el apoyo que me han brindado pero sobre todo por su valiosa amistad.

A mis compañeros de Maestría por todo el tiempo compartido, por su comprensión y paciencia para superar tantos momentos difíciles.

A todos amigos, que de una u otra manera estuvieron pendientes a lo largo de este proceso, brindado su apoyo incondicional

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora nació en Soto la Marina, Tamaulipas, el 8 de junio de 1980. Realizó los estudios de primaria en la Escuela Primaria “18 de marzo”, en Soto la Marina, Tamaulipas, y la Secundaria en la Secundaria Técnica No. 12 en Soto la Marina, Tamaulipas; en 1995 ingresó a la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, donde curso también la Ingeniería, egresando en 2002 de la División de Ciencias Forestales como Ingeniero Forestal.

En noviembre de 2002 ingresó a trabajar a la Dirección General de Gestión Forestal y de Suelo de la SEMARNAT, desempeñándose como enlace Técnico. En Julio de 2003, ingresó a la Secretaría de Ecología del Estado de México, delegación Tepotzotlán, desempeñando labores de obras de conservación de suelos, reforestación, prevención y supresión de incendios forestales así como actividades de concertación social.

De enero de 2006 a diciembre de 2007, cursó los créditos de la Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, de la División de Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN

Efecto de las quemas prescritas en el crecimiento en altura en *Pinus hartwegii* Lindl.

Lorena Ángel Andrés¹ y Dante Arturo Rodríguez Trejo²

El fuego es un factor natural que forma parte de la naturaleza y juega un importante papel en el funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas de *Pinus hartwegii*, en este trabajo se evaluó el efecto de las quemas prescritas en el crecimiento de altura en árboles de esta especie con niveles $\leq 30\%$, de 30 a 60 % y >60 de chamuscado de copa de en el Ajusco, D.F.

Se uso un diseño experimental completamente al azar. Para el análisis de los datos se realizaron análisis de varianza, pruebas de comparación de medias entre tratamientos y regresión lineal múltiple sobre las variables dependientes, con respecto a las variables independientes: altura del arbolado, chamuscado de copa y altura de la cicatriz. Los análisis estadísticos con nivel de significancia de $\alpha=0.05$ y comparación de medias a través de Tukey, indican diferencias significativas ($p = 0.0011$) entre tratamientos, siendo los mejores tratamientos la poda manual y el control. Con relación al porcentaje de sobrevivencia no se encontró diferencia significativa entre tratamientos. Los incrementos son menores a mayor altura de la cicatriz sobre el tronco. El incremento relativo disminuye a una mayor altura del arbolado mientras que el incremento neto es mayor. Los resultados del análisis de varianza indican que en los análisis de suelos sobre el contenido de N, P y K, sólo el contenido de fósforo es significativo y finalmente, el análisis de varianza de los análisis foliares sobre el contenido de N, P y K, muestra que no hay diferencia significativa en ninguno de los elementos.

Palabras clave: Chamuscado de copa, fuego, incremento neto, incremento relativo, nitrógeno, fósforo, potasio.

¹ Tesista

² Director de tesis

ABSTRACT

Fires are a natural factor that forms part of nature and plays an important role in the formation and development of *Pinus hartwegii* ecosystems. The present investigation was conducted on the Ajusco volcano to study the effect of prescribed burns and relative increment in height of trees with $\leq 30\%$, 30 to 60 % and >60 crown scorching levels.

A completely random experimental design was used. For the analysis of the data an analysis of variance and a means comparison were conducted. Multiple linear regression was utilized, including dependent variables (net increment and relative increment), with respect to the independent variables: height of the trees, height of crown scorch and length of the scars. The statistical analysis shows significant differences ($p = 0.0011$) between treatments, which indicates that best treatments are the manual pruning and the control. The survival percentage had not show significant difference among treatments. The increments are lower at higher lengths of the scars on the trunk. The relative increment drops as the trees are larger while the net increment is higher. The results of the analysis of variance indicated that the only the soil phosphorus concentration is significant. The analysis of variance of nutrients in leaves showed that there was not difference in N, P and K concentrations among treatments N.

Key words: Crown scorch, fire, net increment, relative increment, nitrogen, phosphorus, potassium.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	iv
DATOS BIOGRÁFICOS.....	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	6
2.1 Objetivo General	6
2.1.1. Objetivo Específico	6
III. HIPÓTESIS	6
IV. JUSTIFICACIÓN.....	7
V. REVISIÓN DE LITERATURA	8
5.1. Regímenes del Fuego.....	8
5.1.1. Ecosistemas dependientes del fuego	10
5.1.2. Ecosistemas sensibles al fuego.....	11
5.1.3. Ecosistemas independientes del fuego	11
5.2. El Crecimiento de los Árboles	17
5.2.2. Crecimiento en altura	18
5.3. Quemadas Prescritas y Uso del Fuego	20
5.3.1 Quema prescrita	20
5.3.2. Efecto del fuego en las plantas.....	21
5.3.3. Efectos de las quemadas prescritas en el crecimiento de los árboles....	22
5.3.4. Efecto del fuego en el suelo	24
5.3.4.1. Nitrógeno	24
5.3.4.2. Efecto de la quema en el nitrógeno total del suelo	26
5.3.4.3. Efecto del fuego sobre el fósforo total del suelo	29
5.3.4.4. Efecto del fuego en el potasio del suelo	30
5.4. Descripción del <i>Pinus hartwegii</i> Lindl.....	31
5.4.1. Distribución.....	31
5.4.2. Ecología.....	32
5.4.3. Topografía	34
5.4.4. Suelos	34
5.4.5. Taxonomía.....	35
5.4.6. Botánica.....	35
5.4.7. Factores físicos y biológicos que afectan el crecimiento y la reproducción de la especie.....	36
VI. MÉTODOS Y MATERIALES	38
6.1. Descripción del área de estudio.....	38
6.2. Toma de datos en campo	39

6.3. Análisis estadístico de los datos	44
VII. RESULTADOS	45
VIII. DISCUSIÓN	56
IX. CONCLUSIONES	63
X. LITERATURA CITADA.....	65

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de los tratamientos aplicados	43
Cuadro 2. Análisis de varianza del modelo de la variable dependiente crecimiento neto entre tratamientos.....	45
Cuadro 3. Medias del incremento neto por tratamiento.....	46
Cuadro 4. Medias del incremento relativo por tratamiento	46
Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables independientes	46
Cuadro 6. Análisis de varianza de la regresión del modelo de la variable dependiente crecimiento relativo.....	49
Cuadro 7. Estimadores de los parámetros para el incremento relativo	49
Cuadro 8. Análisis de varianza de la regresión del modelo de la variable dependiente crecimiento neto.....	50
Cuadro 9. Estimadores de los parámetros para el incremento neto.....	50
Cuadro 10. Análisis de varianza del porcentaje de sobrevivencia por tratamiento.....	52
Cuadro 11. Concentración foliar de N, P, K en las acículas de <i>Pinus hartwegii</i> en el área quemada.	54
Cuadro 12. Concentración de N, P, K en el suelo del área experimental.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre pérdida de nutrientes y la productividad del sitio con nitrógeno capital, de derecha a izquierda (Tomado de DeBano, 1998; Adapitado de Barnett, 1989).....	28
Figura 2. Gráfica de crecimiento relativo a dos años de la quema prescrita con relación a la altura de la cicatriz.....	48
Figura 3. Gráfica de crecimiento neto a dos años de la quema prescrita con relacion a la altura de la cicatriz.	48
Figura 4. Frecuencias del diámetro normal en arbolado juvenil de <i>Pinus hartwegii</i>	55
Figura 5. Frecuencias de alturas en arbolado juvenil de <i>Pinus hartwegii</i>	56

I. INTRODUCCIÓN

El fuego es un factor ecológico, en la mayoría de los medios terrestres del mundo forma y ha formado parte del entorno natural. Por consiguiente, las comunidades bióticas se adaptan a este factor y lo compensan, exactamente como lo hacen con la temperatura o el agua. El no reconocer que los ecosistemas pueden estar “adaptados al fuego” se ha traducido en una gran dosis de “mala administración” de los recursos naturales del hombre. Utilizado adecuadamente, el fuego puede convertirse en un instrumento ecológico de gran valor (Odum, 1972).

Los incendios forestales provocan una gran cantidad y diversidad de impactos en los ámbitos económico, ecológico, político, social, operativo y legal. Estos impactos varían de acuerdo al sector de la sociedad afectada, su intensidad, la duración de efecto, sus características y en función de la cuantía, frecuencia, extensión y ubicación de los siniestros, así como el ecosistema en cuestión (Rodríguez, 1996).

El impacto ecológico es complejo y se da en diversas características del suelo, aire, vegetación y fauna silvestre, pues se alteran las propiedades físicas, químicas y la microbiología del primero, así como la cantidad de agua y su calidad (Rodríguez, 1996).

El impacto social puede ser bivalente, como en el caso del Distrito Federal, pues por un lado el ganadero se beneficia del fuego, que provoca rebrotes

de zacates con los que alimentará a su hato durante la época de sequía, mientras que el habitante de zonas urbanas pierde bienes y servicios que le proporcionan las áreas forestales (Rodríguez, 1996).

Los incendios forestales tienen efectos benéficos entre los que están: la provocación de la emisión de brotes tiernos de zacate, con los que se alimenta el ganado; se favorece la existencia de muchos pinares adaptados al fuego y que son de gran importancia comercial por el valor que representa la madera, sin olvidar su uso recreativo. El fuego crea una cama de cenizas que beneficia la germinación y el establecimiento del renuevo; las semillas de muchas especies (*Arctostaphylos*, *Ceanothus* y *Rhus*) son inactivas cuando caen del árbol, el calor de un fuego es suficiente para agrietar la cubierta y sacar a las semillas de la inactividad, por lo que el número de plantas después del fuego puede llegar a ser abundante; el fuego puede estimular la floración y la producción de frutos de muchos arbustos e hierba; estimula la reproducción vegetativa de muchas especies arbóreas y herbáceas cuando se reduce el sotobosque; induce la heterogeneidad espacial y temporal del paisaje, el fuego crea una variedad de ambientes de la regeneración convenientes para la colonización de la especie, es decir, favorece la existencia de mosaicos con diferentes estratos y composición vegetal, beneficiando a la fauna que encuentra un hábitat en dichos mosaicos (Pyne *et al.*, 1996).

El fuego puede ayudar al control de ciertas plagas, enfermedades y plantas parásitas de los árboles. En incendios de baja intensidad, la muerte de sólo

la parte baja de la copa de los árboles, en muchos casos puede aumentar su crecimiento en diámetro y altura, con un efecto similar al de una poda al menos durante la estación de crecimiento siguiente a la quema. Además cuando las cenizas no son sacadas de la localidad en grandes cantidades, por viento y agua, enriquecen el suelo pues están constituidas por elementos nutritivos (Rodríguez, 1996).

Para entender los efectos del fuego en el crecimiento de los árboles, es necesario dividirlos en dos grupos. El primero se relaciona con las características del arbolado, en especial con sus adaptaciones al factor fuego y con los daños que pueda sufrir el árbol en el tronco, raíces y copa. El segundo grupo tiene que ver con las modificaciones que el fuego implica tanto en el ambiente físico como en el biótico (Rodríguez, 1996).

Los organismos están constituidos a base de elementos químicos, y una forma de describir a un ecosistema es analizar la transferencia de los elementos entre los reinos vivo e inanimado. El interés en el contenido de nutrientes de plantas y animales ha sido un centro importante de atención en la agricultura por espacio de varios siglos. Es frecuente que los nutrientes limiten en alguna forma la productividad primaria o secundaria de una población o comunidad, y el uso de nutrientes agregados en la forma de fertilizantes ha sido cada vez más común en la agricultura y la silvicultura (Krebs, 1985).

Los primeros seres humanos captaron la noción de que el fuego podía ser una herramienta útil cuando empezaron a aprovechar sus efectos en las sabanas africanas hace millones de años, con el fin de manipular la vegetación y la vida silvestre (Myers, 2006).

Un régimen de fuego, puede definirse como la manifestación del factor ecológico fuego originado por causas naturales, en un ecosistema forestal, a través de cierta frecuencia promedio y su variación, tipo, intensidad, extensión, regularidad o irregularidad de afectación de incendios forestales, y épocas del año en que se presentan (Rodríguez, 1996).

A medida que la humanidad se extendió por todo el planeta, los seres humanos crearon nuevos regímenes de fuego que continuaron moldeando y modificando los paisajes. También continuaron ocurriendo incendios que destruían los hogares, los cultivos y otros recursos. Siempre han existido estas “dos caras del fuego” – los incendios beneficiosos y los incendios dañinos (Myers, 2006).

Desde una perspectiva ecológica, los incendios que se inician naturalmente, y aquéllos que la gente prende y que refuerzan los ciclos naturales del fuego, son benéficos y ayudan a mantener la vida en los ecosistemas que han evolucionado con el fuego. Pero el fuego también puede ser dañino, especialmente en ecosistemas compuestos principalmente por plantas y animales que no poseen las adaptaciones que les permitan sobrevivir o aprovechar el fuego. Ecológicamente, el uso del fuego por los humanos es

en su mayor parte benigno cuando está restringido a los campos agrícolas (TNC, 2004).

Barney *et al.* (1984) citados por Rodríguez (1996), distinguen tres modelos básicos de regímenes de fuego: masas reemplazadas por incendios muy intensos y poco frecuentes, masas mantenidas por incendios frecuentes y poco intensos, y masas mantenidas por incendios intensos y frecuentes.

El fuego como factor ecológico incide sobre la fuente de combustible, que es la vegetación, también sobre la fauna, el ciclo hidrológico, el aire, el valor lúdico de los bosques y el suelo. Este último involucrando todas las facetas que lo constituyen (Jiménez, 1999).

De acuerdo con datos presentados en los informes anuales de la CONAFOR, durante el período 1998 – 2007, en México se registran 8441 incendios forestales por año, afectando 187 838. 65 hectáreas.

Por otra parte, el estudio de los elementos nutrimentales desde un punto de vista dinámico ha sido muy poco abordado en el país; la situación es aún más aguda en el caso de áreas afectadas por incendios forestales.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Estudiar el efecto del fuego en el crecimiento de altura en árboles de *Pinus hartwegii* Lindl., juvenil.

2.1.1. Objetivo Específico

Estudiar en qué medida el crecimiento primario se debe a la eliminación del follaje fotosintético poco eficiente y/o al aporte de nutrientes que representan las cenizas producto del fuego

III. HIPÓTESIS

Por la poda natural moderada y/o al aporte de nutrientes contenidos en las cenizas producto del fuego, *Pinus hartwegii* Lindl. crece más en altura con respecto a árboles en áreas no incendiadas y a árboles con alto nivel de afectación en la copa.

IV. JUSTIFICACIÓN

Para el manejo y la restauración de los ecosistemas de *Pinus hartwegii* se recomienda tanto la eliminación del exceso de fuego, como la reintroducción de este factor ecológico, según sea el caso (Rodríguez, 2001)

El fuego tiene muchas facetas. Para la gente y para los ecosistemas, los incendios pueden ser dañinos, beneficios o benignos, según donde y como ocurran. Desde una perspectiva ecológica, los incendios que se inician naturalmente, y aquéllos que la gente prende y que refuerzan los ciclos naturales del fuego, son beneficiosos y ayudan a mantener la vida en los ecosistemas que han evolucionado con el fuego (TNC, 2004).

Sin embargo, deberá insertarse al campesino en los esquemas de uso del fuego, pues por pobreza, necesidad y falta de cultura forestal origina la mayoría de los incendios en estos bosques; deberán atenderse sus necesidades y comprender mejor su tecnología de uso del fuego. La aplicación del fuego debe ser a baja intensidad, a efecto de maximizar los beneficios ecológicos y silvícolas y minimizar impactos negativos (Rodríguez, 2001).

Por otra parte, en la zona de estudio, el Distrito Federal, hay una elevada siniestralidad; en el 2004, el D. F. ocupó el primer lugar nacional en número de incendios (1 650), si bien en superficie afectada quedó en el lugar 16 (CONAFOR, 2005). Con base en tal problemática y características de los

ecosistemas, resulta necesario conocer mejor el rol del fuego en términos de efectos sobre el crecimiento en altura en árboles de *Pinus hartwegii* juvenil.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Regímenes del Fuego ✓

La comprensión de los regímenes del fuego es esencial para determinar si las acciones humanas son benéficas o dañinas desde su perspectiva ecológica y de qué manera lo son. Los ecosistemas pueden ser descritos en términos de regímenes de fuego típicos, operando dentro de un rango conocido o esperado de variación de los atributos o características clave de los regímenes del fuego. Los atributos incluyen la frecuencia (incluida la ausencia del fuego), la severidad, la intensidad, la escala espacial, la estacionalidad y la fuente predominante de ignición. Por lo general, los ecosistemas y los principales tipos de hábitat pueden clasificarse como pertenecientes a una de las tres amplias categorías de respuesta a regímenes de fuego: *dependientes del fuego*, *sensibles al fuego (e influidos por éste)* e *independientes del fuego* (TNC, 2004).

Las alteraciones de los regímenes del fuego se pueden definir como la medida en que los modelos actuales del fuego se han alejado de los rangos naturales, históricos o ecológicamente aceptables de variación de los atributos clave (por ejemplo, frecuencia del fuego, severidad) asociados con diferentes ecosistemas y característicos de éstos. Los regímenes de fuego

“ecológicamente aceptables” pueden ser influenciados por las personas y actuar a la vez en el mantenimiento de las poblaciones de plantas y animales y de los procesos ecológicos asociados y característicos de un ecosistema particular (o del tipo de hábitat principal, en esta evaluación). Por lo tanto, se presume que la alteración de los atributos clave de un régimen del fuego crea condiciones actuales o de largo plazo que amenazan la presistencia de las poblaciones de plantas y de animales nativos asociados con este régimen del fuego. Desde esta perspectiva, la alteración de uno o más atributos de un régimen de fuego presiona o degrada el ecosistema mediante un cambio significativo en su composición, su estructura o su función, lo que a su vez puede establecer una trayectoria hacia un tipo de ecosistema y un régimen de fuego fundamentalmente diferentes. La evidencia obtenida de una variedad de ecosistemas sugiere que, una vez que se establece una nueva trayectoria, es muy difícil o imposible de frenar o revertir el cambio (TNC, 2004).

El papel del fuego se ha vuelto un problema de conservación porque muchas áreas en todo el mundo dependen del fuego para mantener sus especies, sus hábitats y sus paisajes nativos. Estos son *ecosistemas dependientes del fuego*. Los expertos han clasificado el 46 % del área mundial de los principales tipos de hábitat como dependientes del fuego o influidos por éste; en contraste, hay otras áreas en las que el fuego puede llevar a la destrucción o a la pérdida de especies y de hábitats nativos, el 36 % del área mundial esta clasificado como sensibles al fuego y el 18 % como independientes del fuego (TNC, 2004).

5.1.1. Ecosistemas dependientes del fuego ✓

En los ecosistemas dependientes del fuego, los incendios – ya sean silvestres o aquéllos iniciados por personas y que imitan a los silvestres – son tan fundamentales para sostener las plantas y los animales nativos como lo son la luz del sol y la lluvia. Muchos de los ecosistemas del mundo, desde los bosques de Taiga en Liberia hasta las sabanas del Cerrado de Brasil y los bosques de eucaliptos de Australia, han evolucionado con incendios que ocurren en el marco prescrito por el clima anual y estacional, los tipos de vegetación, los rayos, acumulación de combustibles, la topografía y una variedad de otros factores. En los lugares en los cuales los ecosistemas evolucionaron con el fuego, los incendios mantienen una estructura y composición específicas del ecosistema. No todos los ecosistemas dependientes del fuego o influidos por éste se queman de la misma manera. Por ejemplo, muchos de los bosques, pastizales, sabanas y ecosistemas de humedales se caracterizan por tener incendios superficiales frecuentes y de baja intensidad, los cuales mantienen una estructura abierta ✓ con numerosos pastos y malezas. Por otra parte, algunos tipos de bosque y ✓ matorrales dependientes del fuego o influidos por éste sufren incendios poco ✓ frecuentes intensos y que remplazan al rodal; no obstante, lo que caracteriza a todos estos ecosistemas es la resistencia y la capacidad de recuperación de sus plantas y animales después de estar expuestos a incendios que ocurren dentro del rango de variación característico del tipo de régimen de fuego de ese ecosistema. De hecho la exclusión del fuego resulta a menudo en cambios generales al ecosistema, los cuales son ecológicamente y

socialmente indeseables. En los ecosistemas influenciados por el fuego, algunas especies responden favorablemente al fuego pero otras no (TNC, 2004).

5.1.2. Ecosistemas sensibles al fuego ✓

Los incendios intensos, frecuentes y de larga duración eran, hasta hace poco tiempo, ocurrencias raras. En estos ecosistemas la mayor parte de las plantas y animales carecen de adaptaciones que les permiten responder de manera positiva al fuego o recuperarse rápidamente después de un incendio. Típicamente, estas áreas son frescas o húmedas y poseen una vegetación y una estructura del ecosistema que inhibe el inicio o la propagación del fuego. Los incendios de origen humano en ecosistemas sensibles al fuego pueden influenciar la estructura del ecosistema y la abundancia relativa de las especies a largo plazo, limitar el tamaño del ecosistema o ambos. Estos ecosistemas son vulnerables incluso a incendios moderados que pueden desencadenar un ciclo de incendios más frecuentes y de mayor alcance, los cuales pueden conducir a una transformación del ecosistema y a la creación de condiciones que favorecen la vegetación propensa al fuego, incluyendo a las plantas exóticas (TNC, 2004).

5.1.3. Ecosistemas independientes del fuego ✓

En los ecosistemas independientes del fuego, no hay incendios en gran parte debido a la falta de vegetación o de fuentes de encendido, tal como

sucede en el Desierto de Namibia, en África, o en los ecosistemas de Tundra de la Costa Antártica (TNC, 2004).

De acuerdo con el informe presentado por The Nature Conservancy (TNC, 2007), refiere que las ecorregiones dependientes del fuego cubren el 35 % del área terrestre global; las ecorregiones sensibles al fuego cubren el 22 %; y las ecorregiones independientes del fuego cubren el 15 %. La distribución de estas áreas varía por áreas biogeográficas y la mayoría por tipos de hábitat. Globalmente, el 25 % del área terrestre permanece intacta con relación a las condiciones de regímenes de fuego. Las ecorregiones con regímenes de fuego alterados abarcan el 53 % de la superficie terrestre, mientras que las ecorregiones con regímenes de fuego muy alterados cubren el 8 %.

Adaptaciones al fuego en *Pinus hartwegii*

La gran mayoría de las especies de coníferas que forman parte de los bosques que cubren grandes extensiones de la tierra, poseen variadas características relacionadas con el fuego, como son: contar con un lecho mineral para la germinación de la semilla y altas temperaturas para la apertura de conos serotinos, así como la capacidad que tienen para soportar altas temperaturas durante un incendio forestal, gracias a la propiedad aislante de la corteza y a la resistencia que poseen las yemas adventicias. Algunos bosques, requieren tratamientos a base de fuego en intervalos de tiempo regulares, mientras que otros, solamente los requieren una vez en su

ciclo de vida con propósitos de regeneración (Komarek, 1974; citado por Aguirre, 1978).

En México los ecosistemas dependientes del fuego incluyen bosques de pino, bosques de encino, pastizales, matorrales y palmares, entre otros (TNC, 2007). En el 2000 la Universidad Autónoma Chapingo en coordinación con CONACYT, la CONAFOR, el gobierno de la Ciudad de México y las comunidades de San Miguel y Santo Tomás Ajusco inició el proyecto de investigación Ajusco para estudiar la ecología del fuego y el manejo integrado del fuego en pinares y otros ecosistemas en el Centro de México.

Pinus hartwegii es uno de los pinos mexicanos más adaptados al fuego, presenta seis diferentes tipos de adaptaciones a este factor ecológico, que se mencionan a continuación.

Regeneración en sitios quemados

El fuego permite el contacto de la semilla con el suelo mineral, eliminando la barrera física que los zacatones representan y reduciendo temporalmente la competencia que las plántulas tendrán con los mismos. El suelo es enriquecido por el lecho de cenizas que posteriormente permitirá a las plántulas contar con nutrientes. Cuando hay abundante producción de semilla, que está lista para su liberación en el invierno, se puede observar abundante regeneración sobre sitios quemados (Rodríguez, 2006).

Sarukhan y Franco (1981), reconocen en el fuego un elemento importante para la repoblación de *Pinus hartwegii*.

Estado cespitoso

En algunas poblaciones es marcada esta etapa. El estado cespitoso está caracterizado por un mínimo, casi nulo, crecimiento en altura por unos pocos o hasta doce años, en diferentes especies. En cambio hay un profuso crecimiento de acículas y la raíz crece significativamente. Al cabo del período, y cuando se alcanza 2 a 2.5 cm de diámetro en la base en *P. palustris* y *P. montezumae* (Mitchell, 1998, comp. Pers.: Becerra, 1995), comienza el crecimiento en altura. Probablemente también es el caso para *P. hartwegii*. La yema, protegida por escamas, también es protegida por las densas acículas que la rodean, más inflamables, y que desvían el fuego de la yema, teniendo esta última más probabilidades de sobrevivir al fuego (Rodríguez, 2006).

Rebrotes

Estas plántulas tienen capacidad de rebrote a partir del cuello de la raíz. Sin embargo, aunque tal propiedad es común, no se observa en todas las poblaciones. Cabe señalar que puede haber variación en espacio y tiempo en la capacidad de emitir rebrotes. Por ejemplo, las poblaciones de la Estación Experimental Zoquiapan, Estado de México con una profusa emisión, en tanto que en el Ajusco hay otras con pocos rebrotes en ambos

casos después de incendios. Rodríguez (1996) señala que esta capacidad se abate con la edad. Por su parte, González (2001) y González y Rodríguez (2004), refieren una relación inversa entre chamuscado de copa (quema o deshidratación del follaje debidos a la intensidad calorífica de las llamas) y el número de rebrotes, con 0.68 rebrotes/árbol con chamuscados de copa superiores al 60 %, 1.09 rebrotes/árbol con chamuscados de entre 30 y 60 % y 1.34 % rebrotes/árbol con chamuscados menores al 30 %.

Grosor de corteza

La corteza representa una crucial protección para el cambium vascular ante los incendios. La aplicación de temperaturas de 60 °C durante un mínimo de dos minutos resulta letal para los tejidos vegetales, dependiendo de su contenido de humedad (Wright, 1970). Una corteza de *Pinus palustris* de 1 a 1.3 cm de grosor, tiene una capacidad de aislamiento del orden de 1:10 (Fahnestock y Hare, 1964), es decir, las temperaturas a que el cambium es sometido durante un incendio, son 1/10 de las temperaturas del fuego. En el caso de *Pinus hartwegii*, en pinos desde 15 cm de diámetro y 0.38 cm de grosor de corteza, González (2001) reporta 100 % de supervivencia de los árboles a incendios de intensidad moderada, si bien Rodríguez (1996) menciona que árboles de menor diámetro (y por ende menor grosor de corteza) también sobreviven a incendios poco intensos.

Chamuscado de copa

El fuego es sin duda un elemento de poda natural. A menor altura del arbolado y mayor longitud de llama, el chamuscado alcanzará una mayor proporción de la copa. Cuando moderada, tal poda reporta un importante efecto en el crecimiento en diámetro. Rodríguez (1996) refiere árboles de *P. hartwegii* que recuperaron 40 % de su copa 16 meses después de que un incendio de matorral (*Quercus frutex*) al inicio del invierno mató todo su follaje. También señala que un chamuscado de copa mayor a 50 % implicó una reducción de 32 % en crecimiento radial el año siguiente al fuego en árboles de 35 años de edad. A su vez, González (2001) y González y Rodríguez (2004), señalan que los chamuscados de copa elevados, reducen dicho crecimiento. Encontraron que la anchura promedio de los anillos resultó mayor cuando el chamuscado de copa fue bajo (3.09 mm), en comparación con el chamuscado medio y el testigo (2.41 y 2.33 mm). La anchura del anillo de los dos tratamientos anteriores resultó mayor a la anchura de los anillos del chamuscado alto (2.03 mm). En el análisis de anillos para el año previo a la aplicación de fuego no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p>0.01$), con valores de 2.28, 2.52, 2.52 y 2.47 mm, para el testigo y chamuscados bajo, medio y alto.

Recuperación de follaje

Esta especie puede tolerar pérdidas de todo el follaje al menos por incendios producidos en el invierno, siempre y cuando no se mate a la yema terminal o

a las yemas enclavadas en la parte más alta de la copa, que en caso de muerte de la primera pueden tomar su lugar. A mayor chamuscado de copa, el árbol tiene como prioridad recuperar su follaje para poder producir fotosintatos (Rodríguez, 2006). Acorde con ello, González (2001) y González y Rodríguez (2004), señalan que los árboles que pierden más del 60 % del follaje de su copa recuperan un 69.9 % al cabo de un año: los árboles afectados entre 30 y 60 % recuperan 39.3 % mientras que aquellos que pierden menos del 30 % recuperan 11.8 %. Sin embargo, las afectaciones de gran parte de la copa incrementan la posibilidad de mortandad.

P. hartwegii tolera en su etapa de brinzal, luego de dejar el estado cespitoso, fuego a baja intensidad. Cedeño (1989) señala que en sitios con árboles de 0.5 a 1.2 m de altura, la aplicación de quemas prescritas entre zacates de 0.6 m de alto, en febrero de 1985, a las 6:45 A. M., a -3 ° C, implicó una mortalidad de sólo 2.5 % 15 días más tarde.

De acuerdo con Rodríguez (2006), las adaptaciones mencionadas corresponden a varias etapas de desarrollo del árbol, por lo que pueden ser ligadas en la historia de vida del mismo.

5.2. El Crecimiento de los Árboles

El crecimiento se define como el aumento íntegro y gradual en biomasa, producto de la actividad biológica del individuo (Zepeda, 1983). El crecimiento de un árbol es lento hasta que produce suficiente follaje, raíces y

otros tejidos que llevan a una rápida asimilación de los nutrientes. El árbol crece rápidamente mientras el incremento en follaje y raíces es mayor que el de tejido consumidor (Romero, 1993).

El destino de los fotosintatos producidos por el follaje tiene el siguiente orden general de prioridades, de acuerdo con Waring y Schlesinger (1985):

- 1) Producción de rebrotes y nuevo follaje.
- 2) Producción de raíces
- 3) Almacenamiento en el dosel y el tallo
- 4) Crecimiento en diámetro

5.2.2. Crecimiento en altura

Para el silvicultor, por lo regular tienen importancia las tasas relativas a las que los árboles individuales o las especies incrementan su altura; el crecimiento en altura es un factor determinante del incremento en volumen (Daniel *et al.*, 1982).

El crecimiento en altura es relativamente independiente del grado de espesura y de la cantidad de follaje, excepto a espaciamientos muy pequeños. Esto se debe a que fisiológicamente el suministro de fotosintatos para el crecimiento en altura tiene prioridad sobre el crecimiento en diámetro (Romero, 1993).

Alrededor del 90 % de crecimiento en altura ocurre durante un período de seis a nueve semanas (Daniel *et al.*, 1982). El incremento en altura se manifiesta en la primavera. Generalmente comienza con una gran intensidad, que dura de 2 a 3 semanas, posteriormente decrece gradualmente y en algunas especies se interrumpe mientras que en otras se presenta sin esa interrupción hasta septiembre u octubre (Klepac, 1983).

La duración del aumento en altura puede ser menor debido a un verano seco y frío, pero puede alargarse con un verano húmedo y caluroso, lo que hace posible la formación de brotes, los cuales en algunas especies pueden ser mayores que los brotes de primavera (Klepac, 1983).

La variación en el incremento en altura en árboles individuales se debe probablemente a su diferente reacción al fotoperíodo. En este sentido se ha investigado la influencia del fotoperíodo. Sin embargo, las investigaciones sobre los árboles forestales han sido muy pocas y no han dado una idea clara de estos problemas (Klepac, 1983).

Es característico que el crecimiento e incremento en altura en los árboles está menos influenciado por el medio ambiente que en el diámetro. Para el incremento en altura es de gran importancia la cantidad de reservas materiales que acumula el árbol durante el último año, de ahí que sea comprensible que las raíces exhiben al principio un gran desarrollo (Klepac, 1983).

La culminación del incremento en altura ocurre más pronto en brotes de cepa que en los árboles provenientes de semillas, y la altura es más grande en brotes de cepa que en individuos producidos por semillas. Sin embargo el ritmo de incremento en brotes de cepa comienza a decrecer más pronto y disminuye de manera más rápida que el que sufren los provenientes de semilla (Klepac, 1983).

Los árboles provenientes de semilla crecen al principio más lentamente que los brotes de cepa, pero más o menos al 12 ° año los de semilla, alcanzan y sobrepasan a los de cepa (Klepac, 1983).

5.3. Quemas Prescritas y Uso del Fuego

5.3.1 Quema prescrita

La quema prescrita, es la aplicación controlada del fuego a combustibles silvestres, en su estado natural o modificado, bajo condiciones ambientales específicas que llevan a confinar el fuego en un área predeterminada y, al mismo tiempo, producir una intensidad calorífica y tasa de propagación requerida para atender objetivos planeados de manejo de recursos naturales (Chandler *et al.*, 1983).

En diversas partes del planeta y con diferente intensidad respecto a su uso, las quemas prescritas se emplean en la preparación del terreno para la regeneración natural o artificial, para facilitar el acceso durante la

reforestación, en el manejo de la composición de especies, sucesión y competencia, en la limpieza de residuos de aprovechamiento, en la producción de forraje para el ganado, en el manejo del hábitat para la fauna silvestre, en el control de plagas y enfermedades forestales y en el de plantas parásitas como el muerdago, en la liberación de nutrientes esenciales para fertilizar la localidad, en la creación o manutención de valores estéticos, como medio para promover poda natural de los árboles, como medida preventiva y/o presupresiva ante incendios forestales (reducción de combustibles) y, en algunos casos, influye en la producción de agua de cuencas hidrológicas (Rodríguez, 1994).

5.3.2. Efecto del fuego en las plantas

El efecto del fuego sobre la vegetación es el impacto más obvio durante la quema. El fuego, afecta los ecosistemas por el consumo de plantas, alterando patrones sucesionales y cambios en los recursos vegetales como la madera, forraje y hábitat de fauna silvestre. Cualquier planta puede morir directamente por un incendio severo. Con incendios de baja severidad solamente una parte de la planta puede morir. Las habilidades de las plantas para sobrevivir dependen principalmente de su tolerancia al calor y su resistencia al fuego. La tolerancia al calor se refiere a la habilidad de los tejidos de las plantas para soportar altas temperaturas, mientras que la resistencia al fuego es la habilidad de la vegetación para sobrevivir al paso del fuego (DeBano, 1998).

Una planta muere directamente por el fuego cuando la temperatura interna de las células vivas aumenta a un nivel letal. La temperatura a la cual los tejidos de las plantas se mueren depende principalmente del contenido de humedad de los mismos. La resistencia de las plantas al fuego depende principalmente de sus reservas nutritivas, la presencia de adaptaciones, y los regímenes de fuego a los cuales las plantas son expuestas (DeBano *et al.*, 1998).

La intensidad del incendio, la duración total de la combustión, el calentamiento del suelo, la época del año y el tiempo que transcurre desde que se presentó el último incendio en la misma área, influyen directa o indirectamente en la mortalidad y sobrevivencia de las plantas y su recuperación después del incendio. Después de un incendio, la sobrevivencia depende de las características de las especies, su capacidad de resistir el calor y de sus mecanismos de recuperación. La recuperación de la planta puede ser afectada por factores como: la fase de crecimiento en que se encuentre y la edad de la planta (Miller y Findley, 2000).

5.3.3. Efectos de las quemas prescritas en el crecimiento de los árboles

El factor que puede afectar el crecimiento después del fuego es el estatus fisiológico de los árboles que sobreviven al fuego. El chamuscado de copa y los daños en el tronco pueden debilitar los árboles, con algunos árboles son debilitados y otros sobreviven en condiciones menos vigorosas. La reducción

de la densidad después del fuego puede inducir crecimiento de los árboles sobrevivientes,

Las quemas de hojarascas o las quemas prescritas producen pequeñas pérdidas de nitrógeno del orden de 10 a 15 % y enriquecen el suelo con cenizas (Grier, 1975; citado por Daniel, 1982). La quema de los desperdicios orgánicos o la quema prescrita tienden a elevar el pH del suelo debido al depósito de cenizas alcalinas (Klemmedson *et al.*, 1962; citado por Daniel, 1982). La ceniza contiene principalmente calcio, magnesio, potasio y fósforo; el mayor pH aumenta la disponibilidad de fósforo y la proporción de nitrógeno en forma de nitratos. La quema reduce las poblaciones de microorganismos pedológicos, pero el mayor pH promueve su desarrollo y es común encontrar que las poblaciones microbianas sobrepasan rápidamente los niveles previos a la quema; esta mayor actividad microbiana estimula el proceso de nitrificación, lo que ocasiona que las áreas quemadas tengan en común mayores niveles de nitrógeno en forma de nitrato que los anteriores a la quema (Daniel, 1982).

Las grandes quemas alteran también las propiedades físicas de los suelos al reducir su porosidad y consumir la materia orgánica hasta una profundidad de varios centímetros. Esto puede verse en aquellos lugares en los que se queman las pilas de desperdicios orgánicos; sin embargo, el efecto total de estas quemas es, por lo común, favorable para el crecimiento vegetal (Daniel, 1982).

Estudios realizados por Aguirre (1981) lo llevan a concluir que los incendios severos y no controlados afectan las propiedades físicas de los suelos y la capacidad productiva de éstos, y que provocan grandes escorrentías y pérdida de suelo; pero que las quemas controladas no, por lo que se recomienda ampliamente su empleo, de forma periódica en los bosques de *Pinus hartwegii*.

5.3.4. Efecto del fuego en el suelo

Las propiedades químicas del suelo que son afectadas por el fuego, incluyen características químicas individuales, reacciones químicas y procesos químicos (Debano *et al.*, 1998). Las características químicas del suelo más comúnmente afectadas por el fuego son materia orgánica, Carbón (C), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Azufre (S), cationes, capacidad de intercambio catiónico y pH.

5.3.4.1. Nitrógeno

Las pérdidas de nitrógeno a diferentes temperaturas se establecieron de la siguiente manera (White *et al.*, 1973):

- Pérdida completa (100 %) ocurre con temperaturas mayores a 500 ° C.
- Entre el 75 y 100 % de nitrógeno se pierde con temperaturas de 400 a 500 ° C.

- Entre el 50 y 75 % de nitrógeno se pierde con temperaturas de 300 a 400 ° C.
- Entre el 25 y 50 % de nitrógeno se pierde con temperaturas de 200 a 300 ° C.
- No hay pérdidas de nitrógeno con temperaturas menores a los 200 ° C

Clayton (1976) encontró que la concentración de Na, K, Ca, Mg y N en la precipitación que ocurrió dentro de una atmósfera saturada de humo y partículas en suspensión después del incendio, fue de 20 a 70 veces más grande que en la precipitación normal.

Lewis (1974) en su estudio sobre el efecto del fuego en la dinámica de nutrientes de un bosque de *Pinus* en Carolina del Sur, encontró que los fosfatos y nitratos fueron substancialmente más altos durante las primeras lluvias en el área quemada después del incendio. La cantidad de cationes fue considerablemente dos veces más alta en las áreas quemadas que en las no quemadas, pero tal incremento disminuyó en la temporada de lluvias siguientes.

La transferencia de nutrientes a ecosistemas adyacentes ó distantes reviste gran importancia desde el punto de vista de los efectos que puede producir en las diferentes comunidades bióticas que integran el ecosistema. Tal transferencia tiene lugar a través de mecanismos tales como la precipitación, el viento, la escorrentía y la infiltración del suelo. En el caso de la

precipitación, la transferencia tiene lugar en los ecosistemas adyacentes, debido a la depositación de las partículas de ceniza y humo que se encuentran en la atmósfera. Tales partículas pueden también ser transportadas por el viento y precipitarse en forma gravitacional, las cuales son posteriormente retenidas en el follaje de la vegetación. En este sentido los bosques de coníferas son muy eficientes para adherir en su follaje las partículas atmosféricas en suspensión (Aguirre, 1978).

5.3.4.2. Efecto de la quema en el nitrógeno total del suelo

El nitrógeno total del suelo lo constituyen todas las formas nitrogenadas presentes en el suelo ya sea en forma mineral u orgánica. Al oxidarse la materia orgánica por acción de las altas temperaturas generadas por el fuego, se presentan reducciones significativas en el nitrógeno total del suelo, debido a las pérdidas por volatilización del nitrógeno orgánico y mineral que tiene lugar durante el incendio. Tales pérdidas están en función de la intensidad alcanzada por el incendio y de la cantidad de material orgánico consumido del suelo (Aguirre, 1978).

El efecto más importante que producen las quemas es que al disminuir la acidez de la capa de humus, se incrementa la mineralización del nitrógeno que no fue volatilizado, a través de la nitrificación inmediata y amonificación que tiene lugar tiempo después, incrementando en gran medida el nitrógeno mineral del suelo que la vegetación necesita para su nutrición (Aguirre, 1978).

La modificación de ciertos factores del sitio forestal, como son el pH, la relación C/N, el microclima, el contenido de humedad del suelo, la abundancia de cationes básicos y la liberación del fósforo después de la quema, repercuten positivamente en los procesos dinámicos de absorción de nutrientes por las plantas, en la mineralización de la materia orgánica y la fijación del nitrógeno atmosférico por la microflora del suelo. Todo lo anterior trae como consecuencia el mejoramiento de la productividad del sitio forestal (Aguirre, 1978).

La cantidad total de N volatilizado durante la combustión es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica quemada, debido a que la mayoría del N en el suelo está contenido en la materia orgánica (Raison *et al.*, 1985).

Los efectos de las pérdidas de nitrógeno durante un incendio en la productividad del ecosistema dependen de la proporción del nitrógeno total perdido por un ecosistema dado. Las pequeñas pérdidas de nitrógeno por volatilización puede impactar a largo plazo la productividad en ecosistemas que tienen N limitado (DeBano, 1998).

La productividad del sitio está relacionada con la proporcional de N total perdido. En la Figura 1 se ilustra este punto. En el lado izquierdo de la figura se presentan grandes cantidades de nitrógeno en un solo sitio de alta productividad. Moviéndose hacia la derecha, ambos, el capital de nitrógeno y la productividad disminuyen. Esta disminución no es lineal, porque puede

causar grandes pérdidas en productividad por unidad perdida del N capital en sitios que tienen baja productividad (lado derecho de la Figura 1 que en sitios que tienen alta productividad (lado izquierdo de la figura 1). Por lo tanto, las pérdidas en la productividad del sitio por unidad de N perdido (a_h a b_h) de sitios de alta productividad (I_h) son menores que las pérdidas en la productividad de sitio por unidad de N perdido (a_i a b_i) de sitios que tienen baja productividad (I_i). Una implicación de esta estrecha relación es que deben darle más atención en la reposición del N perdido como resultado de un incendio en sitios de baja productividad (DeBano, 1998).

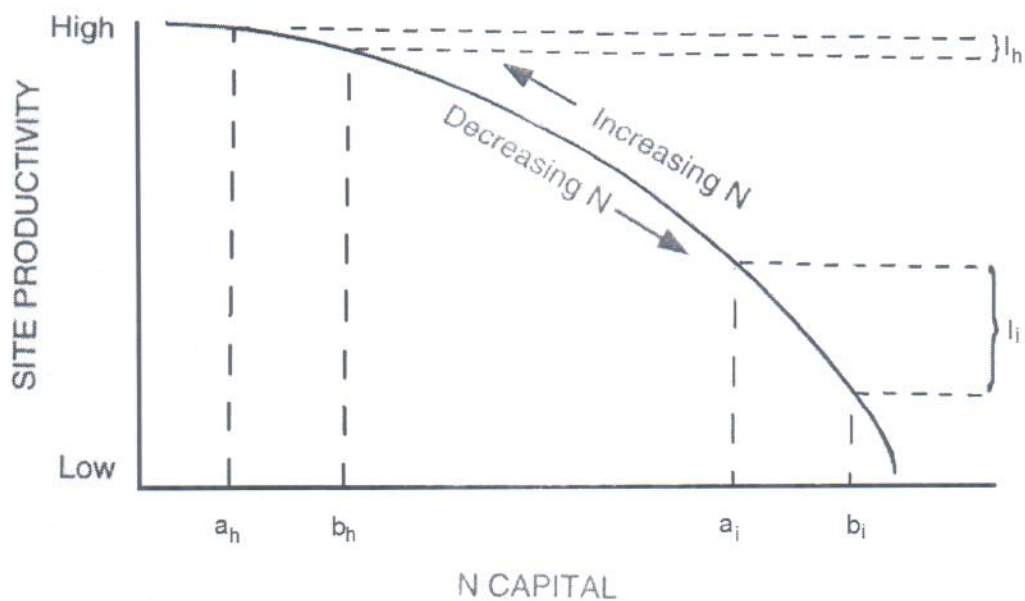


Figura 1. Relación entre pérdida de nutrientes y la productividad del sitio con nitrógeno capital, de derecha a izquierda (Tomado de DeBano *et al.*, 1998; Adaptado de Barnett, 1989).

Los mecanismos que reemplazan el N en el suelo pueden ser considerados en el manejo post fuego, particularmente en sitios donde el N esta limitado. Las adiciones de N al suelo vienen de varias fuentes (DeBano *et al.*, 1998):

- Nitrógeno presente en la precipitación.
- Fijación del nitrógeno atmosférico, en formas disponibles para el suelo y los microorganismos.
- Minerales y fertilizantes orgánicos

Aunque se pierden grandes cantidades de N durante la combustión del material la disponibilidad de $\text{NH}_4\text{-N}$ (amonio) es usualmente alto, bajo el suelo (DeBano, 1979). El incremento en $\text{NH}_4\text{-N}$ inmediatamente después de un incendio tiene relación con las temperaturas alcanzadas en el suelo. Por ejemplo, la mayoría del N en el suelo probablemente es volatilizado por incendios de alta severidad, particularmente en, cerca o la superficie del suelo y solo pequeñas cantidades son transferidas hacia el suelo. Contrariamente grandes cantidades de $\text{NH}_4\text{-N}$ pueden encontrarse en las cenizas y bajo la capa del suelo después de incendios de baja severidad (DeBano, 1991). Por lo tanto, las concentraciones de $\text{NH}_4\text{-N}$ pueden incrementar, disminuir o mantenerse dependiendo de la severidad y duración del fuego (DeBano *et al.*, 1998).

5.3.4.3. Efecto del fuego sobre el fósforo total del suelo

Las concentraciones del fósforo en los tejidos vegetales son variables, los mayores contenidos se encuentran en los frutos y las semillas; en las hojas, ramas y tallos se presentan muy bajas concentraciones. En consecuencia, la liberación del fósforo después de una quema dependerá en gran medida del

tipo de combustible forestal que va a ser quemado y del tipo de vegetación de que se trate (Aguirre, 1978).

El fósforo es limitado en algunos ecosistemas naturales. El fósforo responde diferente al incremento de la temperatura durante el calentamiento del suelo que el N, solamente alrededor del 60 % del fósforo total se pierde por transferencia cuando la materia orgánica se quema totalmente (Raison *et al.*, 1985). Como resultado, relativamente grandes cantidades de fósforo disponible puede encontrarse en las cenizas y en la superficie del suelo inmediatamente después del fuego (DeBano *et al.*, 1998).

En suelos forestales con vegetación de coníferas, el fósforo es un nutrimento escaso para el consumo por parte de las plantas, debido a que es fijado con suma facilidad por el complejo absorbente o transformado a formas químicas inasimilables. Las plantas pueden absorber el fósforo como ión ortofosfato primario (H_2PO_4) y en pequeñas cantidades como ión orotofosfato secundario (HPO_4), en suelos alcalinos. Las temperaturas generadas por una quema actúan sobre la materia orgánica y el humus del suelo, produciendo una liberación substancial del fósforo (Aguirre, 1978).

5.3.4.4. Efecto del fuego en el potasio del suelo

En los suelos forestales que sustentan vegetación de coníferas latifoliadas así como en los tropicales, el contenido de potasio en los diferentes estratos orgánicos es relativamente bajo. Por lo cual, la cantidad de potasio orgánico

que será transformada a formas inorgánicas mediante la quema, será relativamente pequeña y formará parte de K^+ fácilmente aprovechable. Este último representa el 1 – 2 % del total de K^+ total. El potasio de los suelos proviene de un 90 – 98 % principalmente de minerales micáceos (moscovita y biotita) y por dos feldespatos (ortoclasa y microclina) (Aguirre, 1978).

El potasio es aprovechado por las plantas en forma de (K^+), el cual es abundante después de la quema de residuos orgánicos. Sin embargo, debido a sus características de ser un elemento demasiado móvil en los suelos, existe el peligro de que sea perdido por lixiviación (Aguirre, 1978).

5.4. Descripción del *Pinus hartwegii* Lindl.

5.4.1. Distribución

Se encuentra distribuido en las partes más altas de México. Se ubica entre los paralelos 16° 20' a 25° 03' de latitud norte y meridianos 92° 20' a 103° 55' de longitud oeste. Las alturas a que se encuentra en su hábitat natural varía entre los 3 000 y 4 000 msnm (Eguiluz, 1978; Rzedowski, 1978; Solórzano, 1987; Solís, 1994).

Pinus hartwegii Lindl se encuentra en climas templados, subhúmedos, con lluvias deficientes en invierno del tipo C_{wc} (semifríos húmedos con veranos cortos); las precipitaciones oscilan entre 700 y 800 mm, los mejores rodales se encuentran entre 1 000 a 1 200 mm anuales; con lluvia que se distribuye

de junio a septiembre, siendo junio y julio los meses más lluviosos y, marzo, el más seco. La temperatura media es de 12° C, con extremas máximas de 38° C y mínimas hasta de -20 ° C en los volcanes. Los meses más cálidos, son de marzo a mayo y los más fríos, en invierno (Eguiluz, 1978; Santillan, 1991; Sólis, 1994).

5.4.2. Ecología

Es una especie típica de zonas templadas de México. Forma masas puras, especialmente, en las partes más altas de la Región Central, donde ya no prosperan otras especies de Pinos (Eguiluz, 1978; Hernández, 1985; Solórzano, 1987). *Pinus hartwegii* Lindl. Representa comunidades climax y, en las partes bajas, alcanza entre 15 y 20 m, pero hacia los 4 000 msnm el bosque es chaparro y abierto y, los individuos que los constituyen alcanzan alturas de apenas 5 a 8 m (Rzedowski, 1981; Solis, 1994).

Pinus hartwegii es uno de los pinos más adaptados al fuego en México, debido a su capacidad para colonizar áreas quemadas, estado cespitoso, capacidad de rebrote, corteza gruesa, buena poda natural, y capacidad de recuperar copa chamuscada (Rodríguez, 2004).

La corteza representa una protección para el cambium vascular contra las temperaturas letales de los incendios. El chamuscado de copa se refiere a la deshidratación, necrosis o quema de parte o la totalidad de la copa. González (2001), reporta que los chamuscados menores al 30 % aumentan

el ancho del anillo de crecimiento que se forma al año siguiente, pero chamuscados de copa elevados, más de 60 %, reducen dicho crecimiento.

Esta especie puede tolerar pérdidas de todo el follaje, al menos por incendios ocasionados durante el invierno, siempre que no se mate la yema terminal o las yemas de la parte más alta de la copa. A mayor chamuscado, el árbol tiene como prioridad recuperar su follaje para poder producir fotosintatos (Rodríguez, 2001).

La densidad del arbolado de *Pinus hartwegii*, tiene una gran relación con la mortalidad del mismo después de un incendio, esto muy posiblemente debido al material combustible que se encuentra en el piso forestal, la hojarasca, que imprime mayor intensidad calorífica hacia las raíces superficiales. Los incendios ocasionados durante el mes de mayo causan mayor mortalidad al arbolado juvenil de *Pinus hartwegii*, además de un debilitamiento del arbolado residual y con ello se aumenta la probabilidad de ataques por plagas. El daño en la copa del árbol ocasionado por los incendios tienen una relación positiva con la mortalidad del mismo; un daño del 100 % en la copa puede ocasionar una muerte segura o una mayor susceptibilidad a agentes secundarios, plagas y enfermedades (Rodríguez, *et al.*, 2007).

Vera y Rodríguez (2007), las quemas prescritas a baja intensidad a comienzos o mediados de la temporada de incendios, no originan mortalidad

significativa e inclusive pueden aumentar el incremento relativo en altura en arbolado juvenil de la especie estudiada.

5.4.3. Topografía

En la Sierra Nevada, México, *Pinus hartwegii* habita lo mismo en terrenos planos que ondulados o escarpados. Se le encuentra tanto en exposiciones cenitales como en cualquiera otra de las cuatro restantes; desafortunadamente, se desconocen estudios realizados, sobre preferencias topográficas de la especie.

5.4.4. Suelos

Pinus hartwegii Lindl. crece sobre suelos profundos, ricos en materia orgánica, buen drenaje y texturas franca y migajón arenosa (Look, 1950; Sólis, 1994); los suelos, son areno – limosos, profundos, el pH oscila de 5. 5 a 7.1 y capas de materia orgánica variables de 10 a 15 cm de espesor. Sus partes por millón (ppm) de elementos asimilables en el horizonte 01(A00) son: P de 1.3 a 5.2; K de 552 a 819; Ca de 3 770 a 5 330 y Mg de 95 a 166 (Eguiluz, 1978; Solis, 1994).

Los suelos de La Malinche, Tlaxcala y Ajusco, México también son de textura migajón arenoso, profundos, con pH de 5.8 a 6. 5 y ricos en materia orgánica, medios en N, K y Ca, pero más o menos bajos en fósforo (Eguiluz, 1978; Solis, 1994).

5.4.5. Taxonomía

Según la clasificación de Shaw (1914) y Martínez (1955), modificada por Eguiluz (1978), el *Pinus hartwegii*, pertenece al género *Pinus*, al subgénero o sección *Diploxylon*, a la subsección *Pinaster*, al grupo *Montezumae*, al subgrupo *Rudis* y no presenta variedades ni formas.

De acuerdo con la clasificación de Little y Critchfield (1969), modificada también por Eguiluz (1978), el *Pinus hartwegii*, pertenece al género *Pinus* al subgénero *Pinus* (pinos duros), a la sección *Pinus* y a la subsección *Ponderosa* Loud.

5.4.6. Botánica

Tronco. Árbol de tronco recto y copa estrecha con las ramas más viejas péndulas, de hasta 25 – 30 m de alto y 80 – 100 cm de diámetro (Farjón *et al.*, 1997).

Acículas. De color verde grisáceo, en fascículos de (3-)4-5(-6), más comúnmente 5, de (6-)10-17(-22) cm de longitud, de (1-)1,2-1,5 mm de ancho, rectas o curvadas, rígidas (Farjón *et al.*, 1997).

Conos. Solitarios o en verticilos de 2-3(-6), aparentemente sésiles, deciduos, oblicuamente ovoides, de 8-12(-14)*5-8 cm cuando se abren. Escamas de 150 – 200, abriendo pronto, delgadas y flexibles o más rígida,

frecuentemente recurvadas hacia la base, ampliamente extendidas; apófisis más o menos lisas, y débil transversalmente aquilladas, de color café o con más frecuencia café – purpuráceo, con umbo negruzco, liso o deprimido, ocasionalmente un poco levantado (Farjón *et al.*, 1997).

Semillas. De 5-6 mm de longitud, con frecuencia muestran puntos negros, ala articulada de 12-20*7-12 mm.

5.4.7. Factores físicos y biológicos que afectan el crecimiento y la reproducción de la especie

Fuego. Sarukhán y Franco (1981) manifiestan que aparte de los incendios forestales severos con efectos catastróficos, los incendios superficiales periódicos tienen un efecto importante sobre la capacidad de repoblación y sobre las tasas de crecimiento de individuos jóvenes de esta especie, aunque no especifican cómo ni cuánto.

Viento. Aun cuando el viento no afecta aparentemente el crecimiento y/o reproducción de la especie, se sabe que este fenómeno atmosférico ha provocado daños severos en algunos rodales de *Pinus hartwegii* en la Sierra Nevada (Sólis, 1994). En la parte alta del volcán Ajusco, aproximadamente a 3 600 m.s.n.m. se observa de árboles adultos derribados por el viento hace varios años.

Hielo y nieve. El *Pinus hartwegii* es muy tolerante a temperaturas bajas, es resistente a nevadas fuertes y su extremo superior de rango altitudinal establece el límite de la vegetación arbórea en los más prominentes picos montañosos de México (Rzedowski, 1983).

Enfermedades. Es atacado por *Ploioderma lethale* (Dearn), *Fusarium circinatum* Nirenberg & O'Donnell, *Cronartium quercuum quercuum* (Berk) Miyabe ex Shirai, *Cronartium conigenum* Hedgc. & N. R. Hunt, *Cronartium coleosporioides* Arthur, *Coleosporium* Lev., *Armillaria* (Fr.) Staude, *Heterobasidion annosum* Bref. (Fr.) Cooke, *Phellinus pini* (Brot.), *Ophiostoma piceae*, *Pratylenchus* Filipjev, *Trichodorus* Cobb, *Meloidogyne* Goeldi, *Cryptoporus volvatus* (Peck) Shear., *Trichaptum abietinum* (Dicks.) Ryv., *Lophodermium* Chevall.; así como por los muérdagos *Arceuthobium globosum* Hawk y Wiens subsp. *Grandicaule* y *A. vaginatum* (Wild) Presl. Subsp. *Vaginatium*. (Cibrián et al., 2007).

Insectos. Los bosques de México, donde se encuentra esta especie son altamente susceptibles al ataque de: *Apolychrosis synchysis* Pogue, *Conophthorus* spp., *Dioryctria erythropasa* (Dyar), *Cydia* spp., *Cecidomyia bisetosa* Gagné, *Megastigmus* spp., *Pityophthorus aztecus* Bright, *Eucosma sonomana* Kearfott, *Rhyacionia cibriani* Miller, *Retinia edemoidana* (Dyar), Totrícidos barrenadores de brotes, *Eusattodera rugosa* (Jacoby), *Pandeleiteius viridiventris* Champion, *Lophocampa alternata* (Grote), *Neodiprion omosus* Smith, *Pineus* sp., *Chionaspis pinifoliae* (Fitch), *Tecodiplosis* sp., *Eurytoma pinisilvae* Bugbee, *Dendroctonus mexicanus*

Hopkins, *D. adjunctus* Blandford, *D. approximatus* Hopkins, *D. parallellocollis* Chapuis, *D. valens* LeConte, *Ips. Mexicanus* (Hopkins), *I. bonanseai* (Hopkins), *I. integer* (Eichhoff), *Hylurgops* spp., *Pissodes zitacuarensis* Sleeper, *Synanthedon cardinalis* Dampf, *Gnathotrichus sulcatus* (LeConte) y *Ergates spiculatus* (LeConte) (Cibrián *et al.*, 1995).

Sucesión. Rzedowski (1983) considera que esta especie de pino forma comunidades climax. Entre 3 700 y los 4 300 msnm, el *Pinus hartwegii* domina las comunidades debido a las bajas temperaturas y a la pobreza del suelo y no tiene competencia con el estrato arbustivo y muy poco con el herbáceo, aunque a menor altitud se mezcla y compite con *Pinus montezumae* Lamb. (Santillán, 1991; Solís, 1994).

VI. MÉTODOS Y MATERIALES

6.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en la parte Alta de la Serranía del Ajusco, en la Región sur del Distrito Federal, dentro de la provincia fisiográfica del eje Neovolcánico (Tamayo, 1990), entre las coordenadas geográficas 19° 11' 30.8" y 19° 13' 40.5" de latitud N; 99° 13' 42.8" de longitud W. Cubre una superficie de 1180.9 ha, dentro de la cual se encuentra ubicado el Parque Nacional "Cumbres del Ajusco" (Altamirano, 2005). Presenta un intervalo altitudinal que va de los 3,500, a los 3,930 metros sobre el nivel del mar, y un clima C (W 2) semifrío, subhúmedo (Álvarez, 1989).

La vegetación en la zona está representada por las siguientes asociaciones: Bosque mixto de *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa* (3,500 msnm); bosque de *Pinus hartwegii* y zacatonal de *Muhlenbergia quadridentata* (3,700 msnm); bosque de *Pinus hartwegii* bastante abierto y zacatonal de *Muhlenbergia quadridentata* y *Festuca hephaestophila* (3,800 msnm); bosque abierto de *Pinus hartwegii* y zacatonal de *Calmagrostis tolucensis* y *Festuca amplissima* (3,900 msnm) (Gobierno del D.F., 1999).

La fauna se caracteriza por la presencia de reptiles como la víbora de cascabel del Ajusco (*Crotalus transversus*), la salamandra (*Pseudoerycea altamontana*) y las lagartijas (*Sceloporus anahuacus* y *S. spinosus*); aves como el cuervo (*Corvus corax*), búho (*Tito alba*), aguililla (*Buteo swainsoni*); mamíferos como la tuza (*Pappogeomys merriami*), mapache (*Procyon lotor*), entre otras especies. (Álvarez, 1989).

6.2. Toma de datos en campo

En el cerro de San Miguel Ajusco, se realizaron tres quemas prescritas de baja intensidad del 13 al 23 de marzo de 2006, por las mañanas con temperaturas entre 7.8 y 15.5 °C, humedad relativa entre 30 y 50 %, velocidad del viento de 3 a 12 Km/hr, la longitud de llamas fue de 0.4 a 3.1 m y velocidad de propagación de 0.14 a 1.1 m/min. Las quemas se realizaron con la participación de personal tanto de la CONAFOR en el D. F. como de CORENADER (Gobierno de la Ciudad de México), y de la UACH, con autorización de las comunidades de San Miguel y Santo Tomás Ajusco,

como parte del Proyecto Ajusco, sobre Ecología del Fuego, Manejo integral del fuego y restauración de áreas incendiadas, encabezado por la Universidad Autónoma Chapingo.

Las quemas prescritas se llevaron a cabo de tal manera que junto con las parcelas no quemadas, quedaron dispuestas en un diseño experimental al azar. Se tomaron muestras al azar, de tres parcelas quemadas a baja intensidad de manera prescrita. Las tres parcelas están dispuestas al azar, incluyendo tres parcelas no quemadas. En cada parcela se ubicaron grupos de árboles con dos condiciones de densidad, arbolado juvenil abierto (en crecimiento libre) y arbolado juvenil cerrado (con competencia indicada por contacto de copas) de una altura máxima de 6 metros, con diferentes niveles de chamuscado de copa y sin daño físico ni de plagas y enfermedades. P previo a la toma de datos se numeró cada árbol con pintura, a fin de llevar el control de los mismos y facilitar el monitoreo.

La toma de datos en campo se realizó el 12 de octubre de 2007 para medir el incremento en altura a un año y medio de las quemas prescritas a baja intensidad.

En el área quemada de baja densidad se muestrearon 67 árboles juveniles en condición cerrada, y 42 en condición de crecimiento libre, teniendo un total de 124 árboles de los cuales, 51 árboles fueron control, 38 árboles en condición cerrada y 13 en crecimiento libre, evitando incluir árboles del borde de cada parcela (5 m de la orilla), a fin de tener un punto de comparación

entre individuos quemados y no quemados. De estos últimos se tomaron los siguientes datos: condición de crecimiento del arbolado (competencia y libre), altura total (m), diámetro basal (cm), diámetro normal (cm), diámetro de copa (m), grosor de corteza (cm), presencia de raíz expuesta (cm), tamaño de brote principal (cm) y longitud del último brote (cm). Dentro de las tres áreas quemadas se eligieron un total de 73 árboles con diferente nivel de chamuscado de copa, de los cuales 35 estaban en condición cerrada y 38 en crecimiento libre, en la primera toma de datos se midieron las siguientes variables: condición de crecimiento del arbolado, altura total (m), diámetro basal al ras del suelo (cm), diámetro normal (cm), longitud de copa viva (m), longitud de copa muerta (m), diámetro de copa (m), porcentaje de chamuscado de copa, grosor de corteza (cm), presencia de raíz expuesta (cm), tamaño de brote principal (cm), longitud del último brote (cm) y altura de la cicatriz en el tronco (cm).

La altura total y el tamaño de brote principal se midieron con un aparato laser (Marca Hewlett-Packard Company); la longitud de copa viva se obtuvo mediante la resta de la longitud de copa total menos la longitud de copa muerta. La altura de la cicatriz se obtuvo midiéndola con un flexómetro; el diámetro basal y diámetro normal (a una altura de 1.30 m a partir de la base del árbol) se midieron con una cinta diámetro; el diámetro de copa se midió con una cinta métrica; el grosor de corteza se obtuvo con un medidor de corteza

En una zona no quemada (poda manual), aledaña al área quemada a baja intensidad de manera prescrita, se seleccionaron quince árboles juveniles, tres en condición cerrada y 12 en crecimiento libre, a cinco de ellos se les realizó una defoliación manual del 10 % de su copa (en la parte inferior de la misma), cinco se defoliaron 20 % y cinco el 30 %, a fin de simular la afectación de la copa en el área quemada de manera prescrita. De esos quince árboles se eligieron al azar diez, a los cuales se tomaron muestras foliares así como los mismos datos que a los árboles testigo.

Las muestras foliares se secaron en la bolsa en un horno a 70 °C hasta obtener peso constante. Una vez secadas las muestras se llevaron al “Laboratorio Central Universitario UACH – Suelos” para determinar su concentración de nitrógeno (N), mediante digestado con mezcla diácida y determinado por arrastre de vapor, fósforo (P) mediante fotolorimetría por reducción con molibdo-vanadato y potasio (K) por espectrofotometría de emisión de flama. Asimismo, se tomaron 10 muestras de suelo, aproximadamente un kilo, las cuales se llevaron al mismo laboratorio para determinar su concentración de nitrógeno (N), el cual fue extraído con cloruro de potasio 2N y determinado por arrastre de vapor; fósforo (P) por Bray P-1 y potasio (K) extraído en acetato de amonio 1.0N pH 7.0 relación 1:20 y determinado por espectrofotometría de emisión de flama.

En la toma de datos del 12 de octubre de 2007 se evaluaron las variables: Tamaño de brote (cm), altura a la copa viva (m) y fenotipo; para determinar el fenotipo se realizó la medición de los verticilos correspondientes a uno y

dos años anteriores a fin de conocer el comportamiento del incremento tenido por el árbol, de estos datos se obtuvo el promedio del incremento y árboles que presentaron menos de 20 cm de crecimiento en promedio así como brotes corto de años anteriores, se consideró un fenotipo con poco incremento, y aquéllos con crecimientos mayores a 20 cm y brotes largos de años anteriores se consideró un fenotipo de mayor incremento.

Una vez realizada la fase de campo, se llevó a cabo el análisis de datos; para esto se clasificaron los árboles de acuerdo al tratamiento, nivel de chamuscado de copa (30, 60 y 90 %), podado y testigo.

Con las mediciones se obtuvo el incremento en altura, mientras que el incremento relativo (IR) se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$IR = \frac{\text{Incremento (cm)}}{\text{Altura total (cm)} - \text{Incremento (cm)}} * 100 \dots\dots\dots (1)$$

Los datos se ordenaron según el porcentaje de chamuscado de copa. Con lo anterior se definieron los tratamientos que se mencionan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de los tratamientos aplicados

Tratamiento	Chamuscado de copa o de poda de follaje (%)	No. de árboles muestreados
Control (C)	0	51
Poda manual (P)	≤30	15
Bajo (B)	≤30	31
Medio (M)	30 -60	22
Alto (A)	>60	20
	Total	139

Control (C): árboles sin chamuscado de copa; Poda manual (P): árboles con hasta un 1/3 de defoliación manual; Bajo (B): árboles con menos del 30 % de chamuscado de copa; Medio (M): árboles entre 30 – 60 % de chamuscado de copa y, Alto (A): árboles con más del 60 % de chamuscado de copa.

6.3. Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico de los datos se realizó con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS), versión 8, para minicomputadora. Con la finalidad de probar la hipótesis del efecto de los tratamientos (nivel de chamuscado de copa) se usó el análisis de regresión lineal múltiple sobre las variables dependientes (incremento neto e incremento relativo), con respecto a las variables independientes: altura del arbolado, chamuscado de copa y altura de la cicatriz, de donde se obtuvo el modelo que mejor se ajustó para describir el crecimiento en altura. A las variables independientes que resultaron significativas, se les aplicó la prueba de correlación de Pearson para evitar la elección de variables con correlación y así no incurrir en problemas por multicolinealidad.

Asimismo, se realizó la comparación de medias de Tukey de las variables dependientes (incremento neto y relativo) entre tratamientos y por fenotipo.

El Modelo de regresión lineal múltiple empleado fue:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_p X_p + \varepsilon_i \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

Y_i = Variable respuesta (dependiente)

$X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip}$ = Variables explicativas independientes

β_1, β_2 = Coeficientes de regresión

ε_i = Error aleatorio; $\varepsilon_i \approx N(0, \tau^2)$

VII. RESULTADOS

Los resultados del análisis de varianza indican diferencias significativas ($p = 0.0011$) entre tratamientos (Cuadro 2). Al realizar la prueba de Medias de Tukey para la variable incremento neto por tratamiento, encontrándose diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro3) se observó que los mejores tratamientos fueron la poda manual y el control. De la misma manera se encontró diferencia significativa entre tratamientos para el incremento relativo (Cuadro 4) siendo los mejores tratamientos la poda manual y el control

Cuadro 2. Análisis de varianza del modelo de la variable dependiente crecimiento neto entre tratamientos

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	F calculada	Pr > F
Modelo	4	4656.82712	1164.20678	4.91	0.0011
Error	120	28426.26088	236.88551		
Total	124	33083.08800			

Cuadro 3. Medias del incremento neto por tratamiento

Tratamiento	Media ¹
Poda manual (P)	42.214 a
Control (C)	38.373 a
Bajo (B)	28.032 b
Medio (M)	26.438 b
Alto (A)	26.385 b

¹Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (P<0,05).

Cuadro 4. Medias del incremento relativo por tratamiento

Tratamiento	Media ¹
Poda manual (P)	16.097 a
Control (C)	12.209 a
Medio (M)	9.056 b
Alto (A)	8.369 b
Bajo (B)	8.031 b

¹Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (P<0,05).

Del análisis de correlación realizado entre las variables dependientes (incremento neto e incremento relativo), altura de la cicatriz, chamuscado de copa y la altura de los árboles se encontraron relaciones entre las variables, en el Cuadro 5 se muestran los coeficientes de correlación entre las variables. Cuando dos variables mostraron correlación se usó sólo una en el modelo de regresión lineal múltiple.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables independientes

	Altura de la cicatriz	Altura del arbolado
Altura de la cicatriz	1	0.17705
Altura del arbolado	0.17705	1

Se encontró que el modelo que más se ajustó fue el de la variable dependiente con respecto a las variables de altura del arbolado y altura de la cicatriz

Se realizó la regresión lineal múltiple con los datos de altura total del árbol y altura de la cicatriz, a efecto de estimar el valor de las variables dependientes incremento relativo e incremento neto a dos años del experimento; los resultados obtenidos mostraron que el modelo es significativo ($* < 0.0001$ y < 0.0014 , respectivamente), seguido del modelo con las variables altura del arbolado y porcentaje de chamuscado de copa con las variables dependientes crecimiento relativo y crecimiento neto, lo que indica que hay una relación entre las variables. Una expresión gráfica de los modelos, a intervalos de 20 cm para la variable altura de la cicatriz se muestra en las Figuras 2 y 3, donde se observa que el incremento relativo disminuye a una mayor altura del arbolado mientras que el incremento neto es mayor a una mayor altura del arbolado; finalmente, el incremento es menor a mayor altura de la cicatriz. De acuerdo con el análisis de varianza las $R^2 = 0.164691$ y $R^2 = 0.113155$ resultan ser pequeñas, e indican que el modelo es explicado en 16 y 11 %, respectivamente, con un coeficiente de variación de 56.97 y 47.61 % respectivamente, que es alto y la precisión del modelo baja.

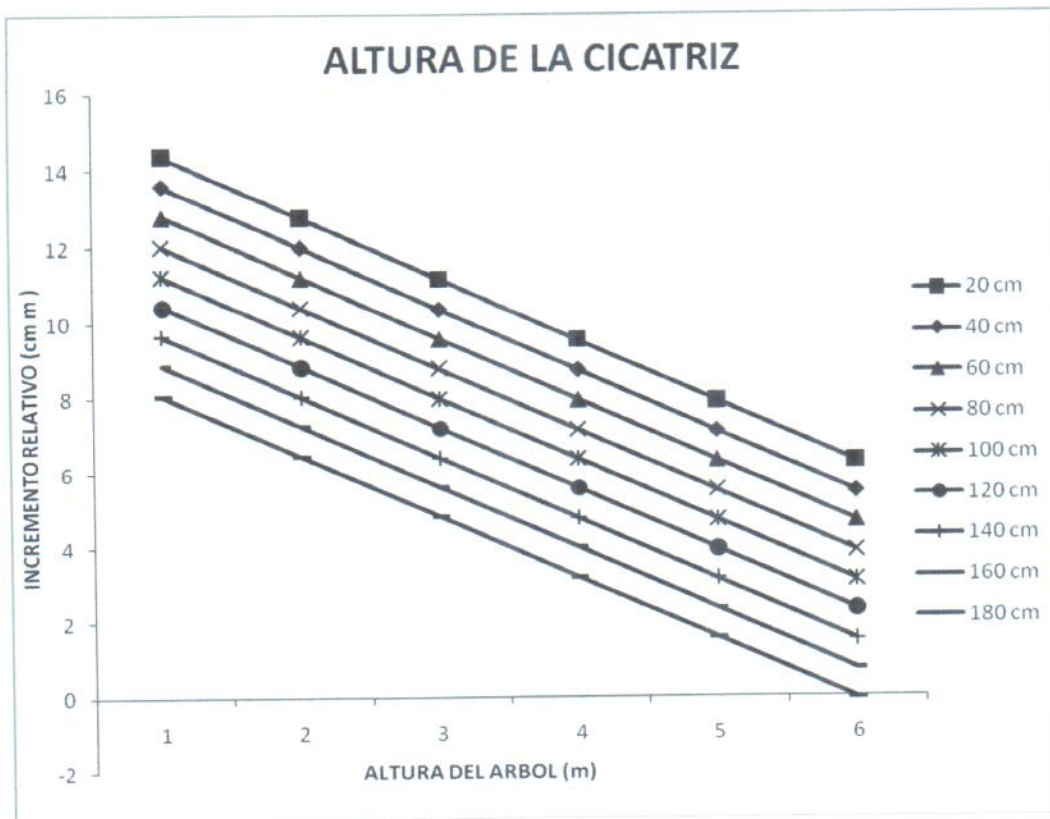


Figura 2. Gráfica de incremento relativo a dos años de la quema prescrita con relación a la altura de la cicatriz.

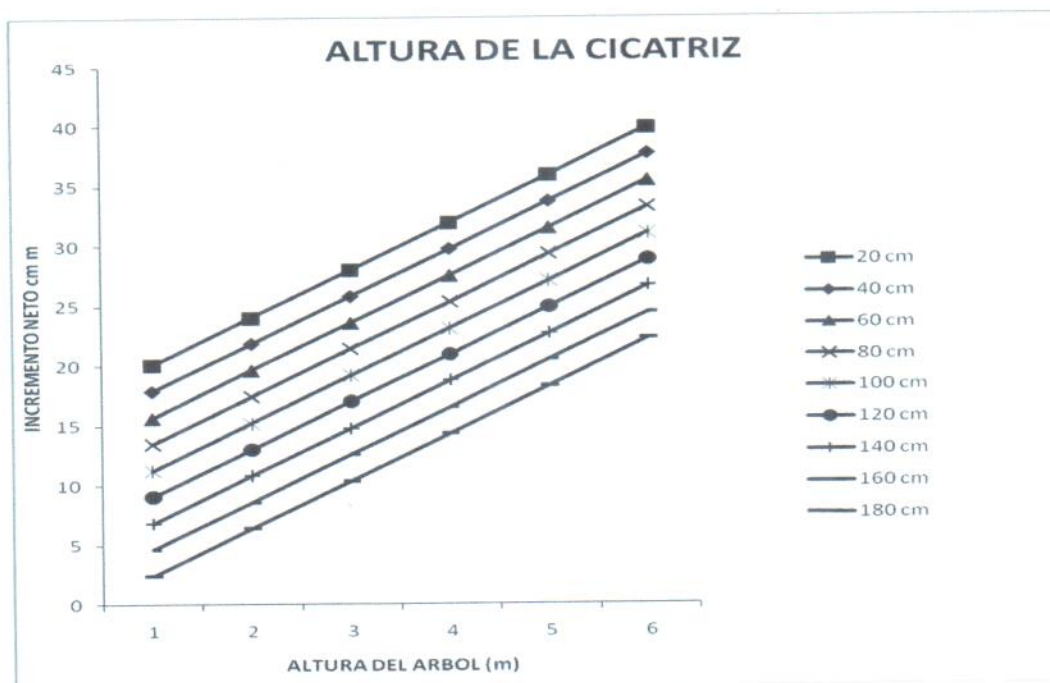


Figura 3. Gráfica de incremento neto a dos años de la quema prescrita con relación a la altura de la cicatriz.

En el Cuadro 6 se muestra el análisis de varianza de la regresión sobre el incremento relativo. Los resultados fueron altamente significativos (< 0.0001) lo que indica que hay una buena relación entre las variables. La $R^2 = 0.164691$, con un coeficiente de variación de 56.97. En el Cuadro 7 se observan los parámetros del modelo de regresión para el incremento relativo.

Cuadro 6. Análisis de varianza de la regresión del modelo de la variable dependiente crecimiento relativo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	F calculada	Pr > F
Modelo	2	698.291270	349.145635	10.84	<.0001
Error	110	3541.711439	32.197377		
Total	112	4240.002709			

Cuadro 7. Estimadores de los parámetros para el incremento relativo

Parámetro	Estimador	Desviación estándar	t calculada	Pr > t
Ordenada al origen (β_0)	16.81103976	1.80516039	9.31	<.0001
Altura del arbolado (β_1)	-1.62734051	0.45626744	-3.57	0.0005
Altura de la cicatriz (β_1)	-0.03959881	0.01709998	-2.32	0.0224

En el Cuadro 8 se muestra el análisis de varianza de la regresión sobre el incremento neto. Los resultados fueron (< 0.0014) lo que indica que hay una buena relación entre las variables. La $R^2 = 0.113155$, con un coeficiente de variación de 47.61488. En el Cuadro 9 se observan los parámetros del modelo de regresión para el incremento neto.

Cuadro 8. Análisis de varianza de la regresión del modelo de la variable dependiente crecimiento neto

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	F calculada	Pr > F
Modelo	2	3215.28813	1607.64407	7.02	0.0014
Error	110	25199.61452	229.08740		
Total	112	28414.90265			

Cuadro 9. Estimadores de los parámetros para el incremento neto

Parámetro	Estimador	Desviación estándar	t calculada	Pr > t
Ordenada al origen (β_0)	18.30936024	aq	3.80	0.0002
Altura del arbolado (β_1)	3.95047233	1.21705399	3.25	0.0016
Altura de la cicatriz (β_1)	-0.11018773	0.04561271	-2.42	0.0174

El modelo ajustado, para el caso de crecimiento neto es:

$$Y = 18.3093 + 3.9504 X_1 - 0.1101 X_2$$

Donde:

Y = Crecimiento en altura a dos años de la quema prescrita

X_1 = Altura del arbolado

X_2 = Altura de la cicatriz

Mientras que el modelo para el crecimiento relativo es:

$$Y = 16.811 - 1.6273 X_1 - 0.0395 X_2$$

Donde:

Y = Crecimiento en altura a dos años de la quema prescrita

X_1 = Altura del arbolado

X_2 = Altura de la cicatriz

El modelo que tuvo un menor ajuste fue el de las variables altura del árbolado y porcentaje de chamuscado de copa, el cual resultó de la siguiente manera.

$$Y = 22.803258 + 2.968244 X_1 - 0.125077 X_2$$

Donde:

Y = Crecimiento en altura a dos años de la quema prescrita

X_1 = Altura del arbolado

X_2 = Porcentaje de chamuscado de copa

De acuerdo con el análisis de varianza no se encontró diferencia significativa entre tratamientos con relación al porcentaje de sobrevivencia (Cuadro 10). Las medias de los porcentajes de sobrevivencia por tratamiento fueron del 100 % en los tratamientos control y podado manual, por su parte el tratamiento de chamuscado de copa medio tuvo 84.85 %, mientras que el bajo presentó el 80.41 % y finalmente, el chamuscado de copa alto tuvo el menor porcentaje con una media de 73.33 %.

Cuadro 10. Análisis de varianza del porcentaje de sobrevivencia por tratamiento

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	F calculada	Pr > F
Tratamientos	4	1718.417942	429.604485	0.85	0.5226
Error	11	5560.419033	505.492639		
Total	15	7278.836975			

Con respecto a los análisis de suelos sobre el contenido de N, P y K, los resultados del análisis de varianza indican que sólo el contenido de fósforo

es significativo pero su R cuadrada es muy pequeña; sin embargo en la comparación de medias ningún tratamiento fue significativo.

De acuerdo con el análisis de varianza de los análisis foliares sobre el contenido de N, P y K, no hay diferencia significativa en ninguno de los elementos; sin embargo en la comparación de medias se encontró los tratamientos con mayor concentración de nitrógeno fueron el Control y el quemado con chamuscado de copa, en el caso de fósforo y potasio ambos tratamientos resultan ser buenos con medias muy semejantes.

Sin embargo las concentraciones de N, P, K, tanto en el suelo como en tejido vegetal, son buenas, tal como se muestran en los Cuadros 11 y 12.

De los datos de diámetro normal tomados en campo de la muestra evaluada se encontró que la mayoría de los árboles presentan un diámetro normal entre 5.51 cm y 10.50, por consiguiente hay menos árboles dentro de las categorías diamétricas mayores (Figura 4), mientras que en altura se aprecia una distribución simétrica encontrándose conforme aumenta la altura aumenta la frecuencia, en la categoría de 3 m se presenta la mayor frecuencia, a partir de la categoría de 4 m. disminuye la frecuencia de manera proporcional a la altura (Figura 5).

Cuadro 11. Concentración foliar de N, P, K en las acículas de *Pinus hartwegii* en el área quemada.

Tratamiento	N %	P %	K %
Quemada	2.74	0.13	0.52
	2.94	0.2	0.72
	3.53	0.15	0.62
	2.55	0.16	0.54
	2.35	0.15	0.53
	2.74	0.16	0.57
	2.94	0.23	0.68
	2.35	0.15	0.49
	2.74	0.15	0.64
	3.14	0.14	0.53
	2.94	0.17	0.72
Promedio	2.815	0.163	0.596
No quemada	2.94	0.17	0.72
	2.74	0.19	0.65
	2.35	0.16	0.58
	2.35	0.2	0.62
	2.74	0.15	0.57
	2.55	0.15	0.63
	2.55	0.14	0.57
	2.94	0.2	0.61
	2.35	0.18	0.57
Promedio	2.586	0.166	0.608
Podado	2.35	0.12	0.56
	2.74	0.16	0.54
	2.35	0.13	0.66
	2.94	0.16	0.57
	2.35	0.14	0.6
	2.74	0.13	0.54
	2.55	0.1	0.51
	2.94	0.13	0.53
	2.94	0.15	0.6
Promedio	2.625	0.139	0.559

Cuadro 12. Concentración de N, P, K en el suelo del área experimental

Tratamientos	N %	P %	K %
Control	2.18	0.15	0.61
	2.18	0.15	0.66
	2.91	0.13	0.72
	2.55	0.1	0.64
	2.55	0.09	0.53
Promedio	2.474	0.124	0.632
Quemado	2.18	0.05	0.65
	2.18	0.07	0.60
	2.18	0.16	0.55
	2.91	0.1	0.56
	2.55	0.09	0.75
Promedio	2.4	0.094	0.622

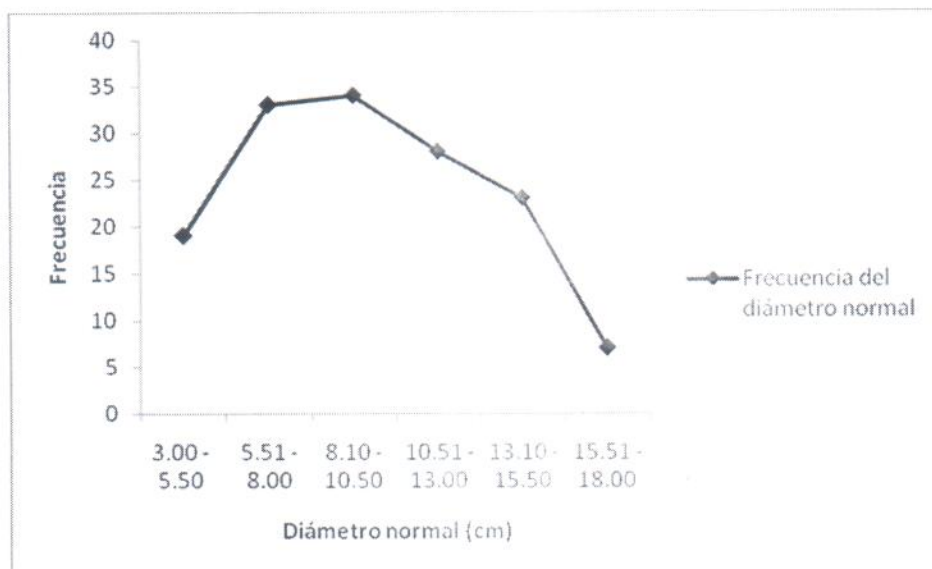


Figura 4. Frecuencias del diámetro normal en arbolado juvenil de *Pinus hartwegii*

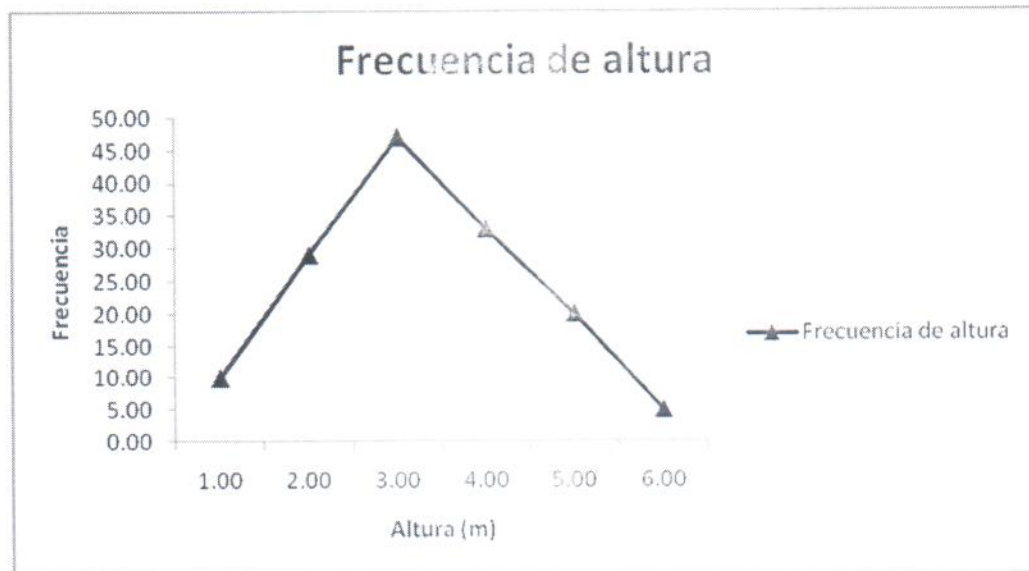


Figura 5. Frecuencias de alturas en arbolado juvenil de *Pinus hartwegii*

VIII. DISCUSIÓN

Este trabajo abordó el efecto de las quemas prescritas en el crecimiento en altura de arbolado juvenil de *P.hartwegii* con el fin de aportar conocimientos a la silvicultura sobre el uso del fuego y sus beneficios en los bosques de esta especie.

Para sobrevivir y crecer, los árboles deben tener un suministro adecuado de carbohidratos, agua, minerales y reguladores hormonales de crecimiento. Gran parte del crecimiento en altura depende del número de unidades de crecimiento del tallo con que cuente la yema y la cantidad de reservas acumuladas en forma de carbohidratos. La magnitud de estos dos factores depende de las condiciones ambientales del año anterior; las condiciones del verano y el otoño del año en curso afectarán el almacenamiento de

carbohidratos, la formación de primordios y, en consecuencia, el crecimiento del año siguiente (Daniel *et al.*, 1982).

El estudio de crecimiento ^{de} incremento de árboles y de bosques es de interés de los silvicultores con el propósito de determinar su respuesta y su proyección a un determinado tiempo para un mejor manejo de los bosques (Prodan *et al.*, 1997).

Por otro lado la importancia del suministro del agua no se puede pasar por alto; Young (1991), refiere que raramente los suministros de humedad del suelo se hallan a niveles óptimos durante la estación de crecimiento y las tremendas pérdidas en crecimiento cada año se deben a deficiencias de agua en los árboles. Las cantidades de tales pérdidas se desconocen porque en general no existen datos para demostrar cuánto crecimiento ocurriría adicionalmente si los árboles tuvieran un suministro favorable durante la estación de crecimiento.

Las sequías inhiben tanto el crecimiento de los brotes como el del diámetro durante el año en que ocurren, pero el efecto a menudo se prolonga en años posteriores. El grado en que inhibe el crecimiento varía con la gravedad y la duración de la sequía, y de acuerdo con las características de crecimiento de los árboles (Kramer y Kozolowski, 1979). Tanto el crecimiento en altura como en diámetro responden no sólo a la cantidad total de agua disponible en el suelo, sino a los déficits temporales que se presentan durante las estaciones de crecimiento (Harold y Hocker, 1984).

El crecimiento de *P. hartwegii* está limitado principalmente por las condiciones ambientales predominantes en las zonas donde se desarrollan (bajas temperaturas y escasa precipitación) (Hernández *et al.*, 2005).

Por lo anterior, se considera que la precipitación pudo ^{ser} un factor determinante en el comportamiento del crecimiento en altura del arbolado de *Pinus hartwegii*; sin embargo, no se pudo tener acceso a la información de las normales meteorológicas del 2002 a 2007 para corroborar esta posibilidad.

Existen casos con efectos positivos del fuego sobre el crecimiento. Cuando se queman pilas de desechos orgánicos y luego se planta sobre el terreno, se observa por lo general que el crecimiento en altura de los árboles es mayor que el de los árboles plantados en suelos no quemados (Daniel *et al.*, 1982). Los resultados de la investigación realizada por González y Rodríguez (2004) sugiere que la práctica de quemas prescritas de baja intensidad, antes de, o durante marzo, así como los chamuscados de copa ligeros, pueden aumentar el crecimiento en diámetro de *Pinus hartwegii*. Sin embargo, se menciona la necesidad de investigar la frecuencia promedio de incendios o quemas prescritas y su variación, la época de quema y el efecto del fuego en otros componentes del ecosistema.

En este trabajo no se encontró una respuesta positiva en el crecimiento en altura como resultado de las quemas prescritas con tres niveles de chamuscado de copa ($> 30\%$, $30-60\%$ y $< 60\%$), ya que el análisis de varianza indica que los mejores tratamiento fueron la poda manual y el control.

Chatto *et al.* (2003), encontraron que en un bosque de eucalipto en el sureste de Australia las quemas prescritas representaron un estímulo significativo en el crecimiento de los árboles. En un período de catorce años observaron que los árboles con tratamientos de quemas prescritas presentan un mayor incremento en diámetro con relación a los árboles no quemados.

Vera y Rodríguez (2007) encontraron que, en una zona muy cercana al área experimental de este trabajo, un año después de las quemas prescritas, el incremento relativo en altura fue mayor y ningún otro tratamiento mostró diferencias significativas con respecto a su testigo.

Por lo anterior y con el fin de observar el comportamiento del crecimiento en altura de *Pinus hartwegii* en esta zona a través del tiempo, como resultado de las quemas prescritas, resulta de importancia continuar con la evaluación ya que los resultados que se muestran en este trabajo son a dos años de los tratamientos donde el factor clima pudo ser fundamental en el efecto observado.

Maags (1998) evaluó algunos efectos de quema controlada en plantaciones de *Pinus elliottii* en el sudeste de Queensland, Australia, encontrando que la biomasa y las cantidades de N, P, Na y Mg fueron significativamente menores en el suelo del bosque sujeto a quemas prescritas hasta 1.5 – 2.5 años después de la quema, sin embargo las diferencias declinaron rápidamente, y después de tres años ningún efecto de la quema fue evidente.

Mientras que en este trabajo, los resultados del análisis de varianza indican que en los análisis de suelos sobre el contenido de N, P y K, sólo el contenido de fósforo es significativo y finalmente, el análisis de varianza de los análisis foliares sobre el contenido de N, P y K, muestra que no hay diferencia significativa en ninguno de los elementos; sin embargo, en la comparación de medias se encontró que los tratamientos con mayor concentración de nitrógeno fueron el Control y el quemado con chamuscado de copa. En el caso de fósforo y potasio ambos tratamientos resultan con medias sin diferencias entre sí.

Blanco *et al.* (2008), encontraron que los cambios en las concentraciones de nutrientes a través del tiempo depende de la cantidad de hojarasca que haya en el sitio.

De acuerdo con Powers (1980) en *Pinus ponderosa* de la región central de Oregón, las concentraciones de nitrógeno foliar son bajas, bajando hasta el 0.8 % durante el período de elongación y subiendo hasta el 1.2 % al final de

la estación de crecimiento. Las concentraciones de nitrógeno foliar bajan a niveles críticos del 0.9 % durante el período de elongación.

Landsberg *et al.* (1984; citado por Rodríguez, 1996), encontraron que en masas naturales de *Pinus ponderosa*, el crecimiento en altura se redujo 8 % en áreas quemadas con intensidad moderada, y 18 % en áreas quemadas con mayor intensidad. Además, no se hallaron diferencias en la concentración de nitrógeno foliar antes y después de la quema, sin embargo, la masa foliar y el contenido de este elemento en la copa se redujeron significativamente después de la quema, y declinaron aún más cuatro estaciones de crecimiento después, por lo que estos investigadores recomiendan estudiar los efectos del fuego a largo plazo en varias comunidades con esta especie.

Los resultados de esta investigación muestran que las concentraciones de N, P, K, tanto en el suelo como en tejido vegetal son adecuadas, es decir, no se registraron reducciones en las áreas tratadas.

Landsberg y Cochran (1980) reportan 4 y 20 % de reducción en la masa foliar de la copa en áreas con bajo y alto consumo de material combustible, respectivamente por el chamuscado de copa. Esta reducción en la parte baja de la copa debería ser similar a la causada por las podas. Lo anterior se confirma con los resultados obtenidos en este trabajo, ya que el tratamiento que presentó mayor crecimiento en altura fue la poda manual de hasta un tercio de la parte inferior de la copa.

Por otra parte, Dahms (1954), Gordon (1959) y Barrett (1968) no encontraron efectos en las podas en *Pinus ponderosa* cuando menos del 25 % de copa viva fue eliminada. Asimismo, esta reducción en la parte baja de la copa por el chamuscado, probablemente no afecta significativamente el crecimiento de los árboles.

Irvine *et al.*, (2007) refieren que en bosques semiáridos de *Pinus ponderosa* en la región central de Oregón los datos de la anchura de los anillos de crecimiento antes y después de incendios muestran que incendios de severidad moderada en este tipo de ecosistemas tienen un efecto directo en la producción después de los incendios.

IX. CONCLUSIONES

- Los resultados de este trabajo indican que los mejores tratamientos fueron la poda manual y el control. Presentándose correlación entre incremento neto y relativo con altura de la cicatriz y con la altura del arbolado. Mismo que se utilizó para obtener los modelos de crecimiento, tomando como base la altura de la cicatriz en rangos de 20 cm.
- De acuerdo al modelo, a menor altura del arbolado y mayor altura de la cicatriz sobre el tronco menor incremento en altura.
- Se encontró que no hay diferencia significativa entre tratamientos en el porcentaje de sobrevivencia.
- Las concentraciones de N, P, K en el tejido vegetal y suelo analizados son buenos, el análisis de varianza muestra que no hay diferencia significativa entre tratamientos.
- A pesar de que en este caso no se apreció un beneficio en el crecimiento en altura del arbolado juvenil, si recomendaría las quemas prescritas como una práctica silvícola importante en el manejo de los bosques de *P. hartwegii*, ya que las ramas que se ubican en la parte baja de la copa reciben relativamente poca luz, con lo que contribuyen muy poco a la producción de fotosíntesis y con ello

se justifica la poda de estas ramas. Además, de manera paralela se controla la carga de material combustible a fin de evitar un evento catastrófico.

- Se considera que el factor clima es fundamental en el crecimiento en altura del arbolado, por lo que se supone que la precipitación fue menor en años anteriores a la quema prescrita realizada para esta investigación, lo cual afectó negativamente el crecimiento en altura durante el período de medición.
- Por lo anterior se recomienda continuar con el estudio de los efectos del fuego en el crecimiento en altura a corto y largo plazo esta especie, tomando en cuenta las condiciones de precipitación años antes y durante el período de medición.

X. LITERATURA CITADA

- Aguirre B. C. 1978. Efecto del fuego en algunas características y propiedades de suelos forestales. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Altamirano G. D. 2005. Dinámica sucesional y espacial del uso de la tierra en la zona denominada Cumbres del Ajusco, D. F. Tesis de Licenciatura. UACH. DiCiFo. Chapingo, Méx.
- Álvarez del C, C. 1989. La vegetación en la Sierra del Ajusco. Cuaderno de trabajo número 33. Departamento de Prehistoria. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, D.F., 74 p.
- Barnett, D. 1989. Fire effects on Coast Range Soils of Oregon and Washington and management implications. USDA Forest Service, Soils R-6 Technical report, Portland, Oregon.
- Barney, R. H.; G.R. Fahnestock; W. G. Herbolzheimer; R. K. Miller; C. B. Phillips and J. Pierovich. 1984. Fire management. *In* Wenger, K. F. (Ed). Forestry handbook. John Wiley and Sons. New York. pp. 189-252.

- Barrett, J. W. 1968. Pruning of ponderosa pine effect on growth. Res. Pap. PNW - 68. Portland, OR. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. 9 p.
- Becerra I., F. 1995. Establishment of *Pinus montezumae* Lamb. In the presence of fire, grass and grazing in the highland of central Mexico (seedling). Thesis D. For., School of Forestry and Environmental Studies. Yale University. 124 p.
- Blanco A. J., J. Bosco Imbert and F. J. Castillo. 2008. Nutrient return via litterfall in two contrasting *Pinus sylvestris* forests in the Pyrenees under different thinning intensities. Forest Ecology and Management. 256 (11): 1840 – 1852 pp.
- Chatto K., T. Bell y J. Kellas. 2003. Effects of repeated low-intensity fire on tree growth and bark in a mixed eucalypt foothill forest in south-eastern Australia. Research Report No. 66.
- Cibrián T., D., J. T. Méndez Montiel, R. Campos Bolaños, H. O. Yates III y J Flores Lara. 1995. *Insectos Forestales de México/ Forest Insects of Mexico*. Universidad Autónoma Chapingo, Comisión Forestal de América del Norte. Publication No. 6. 453 pág.

Cibrián T. D., S. E. García Díaz y D. Alvarado Rosales. 2007.. Enfermedades Forestales de México/Forest Diseases in Mexico. Universidad Autónoma Chapingo - Comisión Nacional Forestal – Forest Service, United States – Canadian Forest Service, Natural Resources - Comisión Forestal de América del Norte. 587 p.

CONAFOR (COMISION NACIONAL FORESTAL). 2005. Reporte de incendios forestales para el D. F. (Folleto).

Dahms, W. G. 1954. Growth of pruned ponderosa pine. Journal of Forestry. 52 (6): 444-445.

Daniel P., W.; Helms U., E. y Baker F., S. 1982. Principios de Silvicultura. Segunda Edición. McGraw-Hill. México, D. F. 492 p.

DeBano, L. F.; G. E. Eberlein and P. H. Dunn. 1979. Effects of burning on chaparral soils. I. Soil nitrogen. Soil Science Society of America Journal 43: 504 – 509.

DeBano, L. F. 1991. The effects of fire on soil properties. In Harvey, A. E., and L.F. NevenSchwan compilers. Proceedings: Management and productivity of Western –Montane Forest Soils. USDA Forest Service, General Technical Report INT – 280 pp. 151-156.

DeBano, L. F., Neary D. G. and Ffolliott P. F. 1998. Fire's Effects on ecosystems. Jhon Wiley & Juns, Inc. United States of America. 333 p.

Eguiluz Piedra, T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis de Licenciatura. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 571 p.

Fahnestock, G. R. y Hare, R. C. 1964. Heating of tree trunks in surface fires. *Journal of Forestry* 62: 799-805.

Farjón A., Pérez de la Rosa J. A. y Styles B. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. The Royal Botanic Gardens, Kew. Continental Printing Bélgica. Unión Europea. 151 p.

Gobierno del Distrito Federal. 1999. Delegación Tlalpan.
<http://www.d.f.gob.mx/delegaciones/tlalpan/index.html>

González R., A. 2001. Efecto del chamuscado de copa en el crecimiento en diámetro de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis de Maestría en Ciencias. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 98 p.

- González R., A. y Rodríguez T., D. A. 2004. Efecto del chamuscado de copa en el crecimiento en diámetro de *Pinus hartwegii* en el Distrito Federal, México. *Agrociencia* 38: 537 – 544.
- Gordon, D. T. 1959. Ten – year observations on pruned ponderosa and Jeffrey pine. Res. Note 153. Berkeley, CA. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest and Range Experimentation. 4 p.
- Grier, C. C.: Wilfire effects on nutrient distribution and leaching in a coniferous ecosystem, *Can. J. For. Res.*, 5:599:607 (1975).
- Hernández Honorio, M. 1985. Variación natural de *Pinus hartwegii* Lindl.: Dimensiones transversales de las traqueadas en un transecto altitudinal de Zoquiapan. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 59 p.
- Hernández, A.J.C., Gutiérrez, G.G., Almeida, L.L. y Ordóñez, D.J.A.B. 2005. Análisis dendroclimático de *Pinus hartwegii* en el volcán nevado de Toluca. México. I Simposio Ecología, manejo y conservación de los ecosistemas de montaña en México. Memorias. Laboratorio de Biotecnología y Ecología Aplicada. LABIOTECA. Xalapa, Veracruz, México. Noviembre 17 y 18, 2005. pp: 102-103.

Irvine, J.; B. E. Law y K. A. Hibbard. 2007. Postfire carbon pools and fluxes in semiarid ponderosa pine in Central Oregon. *Global Change Biology*. 13: 1748–1760 pp.

Jiménez C. P. A. 1999. Efectos del fuego en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en bosque natural de *Pinus patula* Schlech et. Cham. Tesis de Licenciatura. UACH. DiCiFo

Klepac D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Segunda Edición. Universidad Autónoma Chapingo. 365 p.

Klemmedson, J. O., A. M. Schultz, H. Jenny, and H. H. Biswell: Effect of prescribed burning of forest litter on total soil nitrogen, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 26(2):200-202. (1962).

Kramer P. J. y Kozlowski T. T. 1979. Physiology of Woody Plants. Academic Press, Nueva York.

Krebs CH. J. 1985. Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia. Segunda Edición. Harla. México, D. F.

Landsberg J. y Cochran P. H. 1980. Prescribed burning effects on foliar nitrogen content in ponderosa pine. In: Proceedings, 6^a conference on fire and forest meteorology. Seattle, WA. Washington, DC. : Society of American Foresters. 209 – 213 pp.

Landsberg, J. D.; P. H. Cochran; M. M. Finck and R. E. Martín. 1984. Foliar Nitrogen content and tree growth after prescribed fire in Ponderosa pine. Research Note PNW-412. USDA, FS, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station.

Maags, J. 1998. Organic matter and nutrients in the forest floor of a *Pinus elliottii* plantation and some effects of prescribed burning superphosphate addition. Forest Ecology and management. Amsterdam. 23: 105-109 p.

Miller M. y Findley J. 2000. Fire effects guide. Capítulo 6. Plantas. National Wildlife Coordinating Group. Fire Use Working TEam. U.S.A. pp.:110-141.
<http://fire.fws.gov/ifcc/monitor/EFGuide/Plants>.

Myers R., L. 2006. Convivir con el fuego. Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el Manejo Integral del Fuego. Iniciativa Global para el Manejo del Fuego. The Nature Conservancy.

Odum, E. P. 1972. Ecología. Interamericana. México, D. F.

Powers R. F. 1980. Nutritional ecology of ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Laws.) and associate species. Berkeley: University of California. 234 p.

- Prodan, M., R. Peters, F. Cox y P. Real, 1997. Mensura Forestal. Proyecto IICA BMZ GTZ, Sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible, San José, Costa Rica. 561 p.
- Pyne, S. J., Adrews P. L., Laven R. D. 1996. Introduction to wildland Fire. Jhon Wiley & Sons, INC. United States of America
- Raison, R. J., Khanna P. K., and Woods P. V. 1985. Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires. Canadian Journal of Forest Research. 15:132-140.
- Rodríguez T., D., A. 1994. La lucha contra el fuego: guía para la prevención, presupresión de incendios forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 171 p.
- Rodríguez T., D. A. 1996. Incendios Forestales. Mundi – Prensa. México, D.F. S.A. de C.V.
- Rodríguez T., D. A. 2001. Ecología del fuego en el ecosistema de *Pinus hartwegii* Lindl. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 7(2): 145-151.
- Rodríguez T., D. A. 2004. Investigación en manejo integral del fuego. Revista Forestal XXI, Vol. 7, No. 1. México, D. F.

Rodríguez T., D. A. 2006. Ecología del fuego y manejo integral del fuego en las montañas del Valle de México (bosque de coníferas). En: Flores G., J., G. y Rodríguez T., D., A. 2006. Incendios Forestales. Grupo Mundi-Prensa, CONAFOR. México, D. F.

Rodríguez, T. D. A.; Baruch, C., S., U.; Zepeda, B., M.; Carr, J. R. 2007. First year survival of *Pinus hartwegii* following prescribed burns at different intensities and different seasons in central Mexico. *International Journal of Wildland Fire*. 16: 54–62.

Romero G., Y. 1993. Análisis de crecimiento de *Pinus patula* Sch. Et Cham., en diferentes niveles de competencia intraespecífica, en Huayacocotla, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

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

Rzedowski J. 1981. Vegetación de México. Limusa. México, D. F. 423 p.

Sarukhan K., J. y M. Franco B. 1981. Un modelo de simulación de la productividad forestal de un bosque de pino. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos – Subsecretaría Forestal y de la Fauna. Unidad de apoyo técnico, No. Serie Premio Nacional Forestal.

- Santillan Perez, J. 1991. Silvicultura de la coníferas de la Región Central. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 30 p.
- Sólis, P. M. A. 1994. Monografía de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 130 p.
- Solórzano Ibarra, F. 1987. Efecto de algunos factores ambientales en la germinación de semillas de *Pinus hartwegii* Lindl., bajo condiciones controladas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 81 p.
- Tamayo., J. L. 1990. Geografía Moderna de México. Edición 10. México, D.F., Editorial Trillas. 400p, mapas.
- TNC. 2004. El fuego, los ecosistemas y la gente. The Nature Conservancy. Tallahassee, FL. 28 p.
- TNC. 2007. FIRE, ecosystems & people: threats and strategies for global biodiversity conservation. The Nature Conservancy. Tallahassee, FL. 20 p.
- Vera V., V. y Rodríguez T., D., A. 2007. Supervivencia e incremento en altura de *Pinus hartwegii* a dos años de quemas prescritas e incendios experimentales. Agrociencia 41: 219-230.

- Waring R., H.; Schesinger W., H. 1985. Forest Ecosystems. Concepts and Management Academic. Press. San Diego, New York.
- White, E. M., Thompson W. W., and Gartner F. R. 1973. Heat effects on nutrient release from soils under ponderosa pine. Journal of range management. 26:22-24.
- Wright, H. A. 1970. A method to determine heath – caused mortality in bunchgrass. Ecology 51: 582 – 587.
- Young R., A. 1991. Introducción a las Ciencias Forestales. Ed. Noriega Limusa. México, D. F. 522 p.
- Zepeda B., E. M. 1983. Análisis de diez procedimientos para estimar incrementos volumétricos de coníferas. Serie de apoyo académico No. 41, Di. Ci. Fo., UACH, México.