

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**EFFECTO DEL CHAMUSCADO DE COPA EN EL
CRECIMIENTO EN DIÁMETRO DE**

Pinus hartwegii Lindl.

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES**

P R E S E N T A

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

ANDRÉS GONZÁLEZ ROSALES

Chapingo, Estado de México, Diciembre de 2001



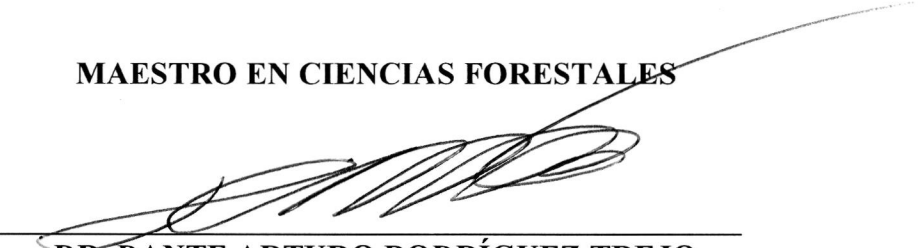
BIB 96 738

**EFFECTO DEL CHAMUSCADO DE COPA EN EL CRECIMIENTO EN
DIÁMETRO DE *Pinus hartwegii* Lindl.**

Tesis realizada por Andrés González Rosales bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el
grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:


DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

ASESOR:


DRA. AMPARO BORJA DE LA ROSA

ASESOR:


M.C. JAVIER SANTILLÁN PÉREZ

ASESOR:


M.C. ANTONIO VILLANUEVA MORALES

**EFFECTO DEL CHAMUSCADO DE COPA EN EL CRECIMIENTO EN
DIÁMETRO DE *Pinus hartwegii* Lindl.**

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de Andrés González Rosales,
autor de la presente tesis de maestría en Ciencias Forestales, estuvo constituido
por:

PRESIDENTE: 
DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

ASESOR: 
DRA. AMPARO BORJA DE LA ROSA

ASESOR: 
M.C. JAVIER SANTILLÁN PÉREZ

ASESOR: 
M.C. ANTONIO VILLANUEVA MORALES

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado apoyo económico, gracias al cual pude realizar mis estudios de postgrado en lo que más me gusta hacer, siendo un escalón más de conocimiento y preparación en mi vida profesional.

A la Universidad Autónoma Chapingo, a través de la Dirección General de Investigación y Postgrado, por contemplarme dentro de su programa, en el proyecto de investigación No. 100303, motivo por el cual recibí un apoyo económico, que me ayudó en mucho para la realización de esta investigación.

Al personal docente de postgrado de la División de Ciencias Forestales, que gracias a ellos pude integrar nuevos conocimientos y muy en especial a mi alma mater la Universidad Autónoma Chapingo.

Al Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, por la dirección, el apoyo brindado y el tiempo que me dedicó para desarrollar este trabajo, por su apoyo en la parte estadística, y muy en especial por despertar en mi el interés de investigar este tema tal olvidado en nuestro país que fue una idea de él; gracias por la confianza que depositó en mí para desarrollar este tema y sobre todo por la amistad que me ha brindado como persona y como maestro; no cambie en su forma de ser maestro.

A la Dra. Amparo Boja de la Rosa, por el apoyo brindado en la realización de este trabajo, por sus valiosos comentarios, sugerencias en el desarrollo y el tiempo que me dedicó en la revisión final, gracias por la confianza y amistad que me ha brindado como maestra y coordinadora de postgrado de esta maestría.

Al M.C. Javier Santillán Pérez, por la revisión final, el tiempo que me dedicó y las sugerencias realizadas en este trabajo y sobre todo por la amistad que me ha brindado durante mi estancia en el postgrado.

Al M.C. Antonio Villanueva Morales, por sus valiosos comentarios y sugerencias en la base estadística del trabajo, gracias por su paciencia y sobre todo por el tiempo que me dedicó y la amistad que me ha brindado durante mi estancia en Chapingo.

A las brigadas contra incendios forestales encargadas de proteger el Parque Desierto de los Leones, México D.F., por todos los favores y transporte que me proporcionaron, gracias a ustedes pude recabar parte de la información que le dio vida a este trabajo.

A mis compañeros de postgrado: José, Jesús, Luis, Juan Carlos y Armando por la amistad que nos une, y sobre todo por los buenos y malos momentos que compartimos juntos; espero que en un futuro no muy lejano sean puras cosas positivas.

A Belem por la amistad que me brindó desde que la conocí; gracias por sus consejos.

A la maestra Ana María Sánchez R., por el apoyo que me otorgó, cuando llegué a la Universidad, cuando más lo necesité.

A Rodrigo, por la ayuda incondicional que siempre me ha proporcionado.

A todas las personas que me brindaron su apoyo de alguna u otra forma, no se sientan menos si no los menciono, pero los tengo presentes.

DEDICATORIA

Muy en especial a toda mi familia, que me ha apoyado en todos mis logros y objetivos, en las cosas difíciles y los buenos momentos; a mi papá Andrés, mamá Ma. Carmen, hermanos: Beto, Julio y Mauricio.

A mi ahijado Beto Jr. y a Lilia

Gracias a todos, los quiero mucho.

A mis abuelos, muy en especial a mi mamá Trini ya mi pa Lupe, que dios te tenga en su casa, gracias por sus sabios consejos.

A Valentina, por el amor, comprensión y paciencia que me brindas a cada instante, es lo mas mágico y hermoso que me puedo imaginar, y sólo tengo una certeza: que esto que logro ahora, no valdría la pena si no lo compartiera contigo.

Porque se que algún día no muy lejano estaremos juntos para ser completamente felices.

Gracias por todo

ANDRÉS G.R.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació en Copándaro de Galeana, Michoacán, el 23 de enero de 1974. Realizó los estudios de primaria en la Escuela Primaria Liberación del Campesino, en San Agustín del Maíz; y la Secundaria en Copándaro de Galeana, Michoacán; en 1989 ingresó a la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, donde cursó también la ingeniería, egresando en 1996 de la División de Ciencias Forestales como Ingeniero Forestal con Orientación en Evaluación y Abastecimiento.

En enero de 1997 ingresó a trabajar en la Unión de Crédito Pajal Yac Kac Tik, en San Cristóbal de las Casas, Chiapas, en el Proyecto Internacional de Captura de Carbono “Scolel te”, desempeñándose como asesor forestal. En mayo de 1998, funge como asesor forestal en la Procuraduría General de Justicia del Estado de Michoacán, desempeñándose principalmente como perito forestal hasta diciembre de 1999. En este trabajo participó activamente en labores de prevención, presupresión y supresión de incendios forestales, así como en el manejo de viveros forestales, predios forestales y en el establecimiento de plantaciones forestales.

De enero del 2000 a diciembre del 2001, cursó los créditos de la Maestría en Ciencias Forestales, de la División de Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo, con orientación en protección forestal, enfocado al uso y manejo del fuego.

RESUMEN

Efecto del chamuscado de copa en el crecimiento en diámetro de *Pinus hartwegii* Lindl.

Andrés González Rosales
Maestro en Ciencias en Ciencias Forestales
Universidad Autónoma Chapingo
(Bajo la dirección del Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo)

Se estudió el efecto del chamuscado de copa en el ancho del anillo anual producido después de un incendio, y otras variables de respuesta, en árboles de *Pinus hartwegii*, en el Parque Nacional Desierto de los Leones, D.F., durante un año. Se utilizaron métodos estadísticos multivariados y univariados para el análisis. Los resultados indican que un chamuscado de copa $<30\%$, estimula el crecimiento en 32% con respecto a los árboles control; con un $30-60\%$ de chamuscado, el crecimiento fue similar al control; y con $>60\%$, el crecimiento se reduce en un 13% ($p=0.0001$). La recuperación de copa fue mayor en árboles con un chamuscado de copa intenso. Existe una mayor emisión de rebrotes en árboles con chamuscado de copa ligera y exposiciones Este. Se generó un modelo para estimar el ancho del anillo anual posterior al incendio, con base en el porcentaje de chamuscado de copa.

Palabras clave: *Pinus hartwegii*, chamuscado de copa, anillo de crecimiento, rebrotes, recuperación de copa, ecología del fuego, manejo del fuego.

ABSTRACT

Andrés González Rosales

Effect of crown scorch on diameter growth of *Pinus hartwegii* Lindl.

December of 2001

(Under the direction of Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo)

Was studied the effect of crown scorch on the width of the annual ring produced after fire, and other variables, in *Pinus hartwegii* trees, at the Desierto de los Leones National Park, Distrito Federal, Mexico. In the statistical analysis were used multivariate and univariate methods. Results indicate that a light (<30%) crown scorch, produces annual rings 32% wider than the controls. A medium (30-60%) crown scorch, produces rings with a width that exhibited no statistically significant differences in relation to the controls. An intense crown scorch (>60%), produces a 13% reduction, in relation to controls ($p=0.0001$). The higher the crown scorch, the higher the new foliage production. There was a higher basal resprout emission at low crown scorches and east aspects. A model was generated to estimate the width of the annual ring the year after fire, based in the percent of crown scorch.

Keywords: *Pinus hartwegii*, crown scorch, annual ring, resprouts, new foliage production, fire ecology, fire management.

CONTENIDO

APROBACIÓN DE LA TESIS DE GRADO	ii
APROBACIÓN DEL EXAMEN DE GRADO	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	vi
DATOS BIOGRÁFICOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
CONTENIDO	x
ÍNDICE DE CUADROS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	5
3.- HIPÓTESIS	5
4. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1. Elementos básicos sobre incendios forestales	6
4.2. Biología del crecimiento en diámetro	7
4.3. Efectos del fuego en las plantas	11
4.3.1. Mortandad en las plantas	11
4.4.2. Afectación de la copa	12
4.4.3. Afectación del tronco	14

4.4.4. Afectación de la raíz	15
4.4. Chamuscado de copa	17
4.4.1. Crecimiento en diámetro y altura	17
4.4.2. Recuperación del follaje	19
4.4.3. Emisión de rebrotes	20
4.4.4. Mortandad	21
4.4.5. Grosor de corteza	22
4.5. <i>Pinus hartwegii</i> Lindl	23
4.5.1. Aspectos generales	23
4.5.2. Distribución	24
4.5.3. Anatomía de la madera	24
4.5.4. Algunos factores físicos y biológicos que afectan su crecimiento ...	26
4.5.4.1. Calidad de estación	26
4.5.4.2. Fuego	26
4.5.4.3. Viento	27
4.5.4.4. Hielo y nieve	27
4.5.4.5. Enfermedades	27
4.5.4.6. Insectos	28
4.5.5. Sucesión	28
4.5.6. Importancia	29
5. MÉTODOS Y MATERIALES	31
5.1. Descripción del área de estudio	31
5.2. Selección del arbolado	33
5.3. Obtención de la información	33
5.3.1. Levantamiento de la información en campo	35
5.3.1.1. Primera medición en campo	35
5.3.1.2. Segunda medición en campo	41
5.3.2. Análisis de laboratorio	42
5.4. Arreglo de los datos	46
5.5. Análisis estadístico de los datos	47
6. RESULTADOS	51
6.1. Comparación de variables previas a la aplicación de tratamientos	51
6.2. Análisis multivariado	53
6.2.4. Análisis de las variables largo del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana, recuperación de la copa y número de rebrotes	53

6.3. Análisis univariado	60
6.3.1. Comparación de las exposiciones en relación al número de rebrotes emitidos por los árboles después del incendio	60
6.4. Características tecnológicas de los anillos anuales de crecimiento	61
6.4.1. Análisis de densidad básica	61
6.4.2. Análisis de la madera tardía	62
6.5. Modelo de crecimiento del anillo anual en relación al porcentaje de chamuscado de copa	64
7. DISCUSIÓN	69
8. CONCLUSIONES	79
9. RECOMENDACIONES	81
10. LITERATURA CITADA	83
11. ANEXOS	96

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Clasificación final de los datos por tratamientos.	46
Cuadro 2	Cuadro de comparación de variables entre tratamientos.	52
Cuadro 3	MANOVA general para probar el efecto de los tratamientos en las variables ancho del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana, recuperación de la copa y número de rebrotes.	56
Cuadro 4	Valores medios por tratamiento de las variables: ancho del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana, recuperación de la copa y número de rebrotes.	57
Cuadro 5	Densidad básica (g/cm^3) de los anillos anuales: último, medio y central, según las intensidades de chamuscado de copa o tratamientos.	62
Cuadro 6	Cuadro de la proporción de madera tardía antes y después del incendio para cada tratamiento.	63
Cuadro 7	Análisis de varianza de la regresión del modelo con la variable dependiente ancho del anillo anual posterior al incendio.	67
Cuadro 8	Suma de cuadrados de la variable independiente porcentaje de chamuscado de copa.	67
Cuadro 9	Parámetros del modelo de regresión.	67

Cuadro 10	Modelo descriptivo de los efectos del chamuscado de copa y la respuesta del árbol en las variables ancho del anillo posterior al incendio, recuperación de la copa y emisión de rebrotes.	76
-----------	--	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Distribución de <i>Pinus hartwegii</i> . (Tomado de Perry, 1991)	25
Figura 2	Mapa de localización del área de estudio	32
Figura 3	Área quemada donde se observa el chamuscado de copas que sufrió el arbolado de la especie <i>Pinus hartwegii</i> , durante un incendio de baja intensidad, en el paraje "Cerro de San Miguel", Parque Nacional Desierto de los Leones, D.F.	34
Figura 4	Línea negra donde se aprecia el chamuscado de copas que sufrieron los árboles de la especie <i>Pinus hartwegii</i> en el paraje "Cerro de San Miguel" Parque Nacional Desierto de los Leones, D.F.	34
Figura 5	Imágenes que fueron utilizadas para calificar el porcentaje de chamuscado de copa en <i>Pinus hartwegii</i>	36
Figura 6	Tipos de crecimiento, forma del fuste, tipo de daño y forma de la copa en los que se desarrolla y presenta <i>Pinus hartwegii</i>	37
Figura 7	Algunas variables medidas en los árboles muestreados.	40
Figura 8	Variables medidas en las virutas obtenidas de los árboles muestreados.	45
Figura 9	Ancho del anillo anual antes y después del incendio para <i>Pinus hartwegii</i>	54

Figura 10	Comparación del ancho de los anillos anuales, obtenido un año después del incendio por tratamiento	55
Figura 11	Grafica de recuperación de la copa y número de rebrotes emitido por los árboles según el tratamiento o chamuscado de copa.	58
Figura 12	Emisión de rebrotes en <i>Pinus hartwegii</i> , un año después del incendio..	59
Figura 13	Grafica de número de rebrotes emitidos por los árboles después del incendio según la exposición y nivel de chamuscado de copa.	61
Figura 14	Grafica de densidad básica correspondiente al ultimo anillo anual antes y después del incendio.	63
Figura 15	Grafica de dispersión de los datos del largo del anillo anual después del incendio en relación la porcentaje de chamuscado de copa.	64
Figura 16	Grafica de crecimiento del anillo anual posterior al incendio en relación al porcentaje de chamuscado de copa.	66

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Formato para la toma de datos en campo	96
Anexo 2	Análisis de los contrastes de las variables ancho del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana, recuperación de la copa y número de rebrotes con los tratamientos.	97

1. INTRODUCCIÓN

El fuego es un factor ecológico que ha existido en la superficie de la tierra desde que surgieron los primeros vegetales, al haber suficiente oxígeno en la atmósfera y al actuar una causa natural de ignición que provocara su combustión, manifestándose periódicamente según el tipo de vegetación, la acumulación de material combustible y las condiciones climáticas del lugar; por lo anterior como respuesta a este fenómeno la vegetación tuvo la necesidad de adaptarse a través de muy diversos mecanismos, constituyendo un factor selectivo dentro de la población, comunidad y ecosistema, evolucionando a la par.

Generalmente un incendio forestal es considerado como un factor de destrucción de los bosques, y es una idea que a perdurado en el ámbito forestal desde que el hombre inició su manejo y cobró una mayor importancia por los bienes que se pueden obtener de estos, sin tener una base científica bien fundamentada del papel que juega el fuego en el bosque y basándose únicamente en los daños visibles y medibles que se manifiestan durante y después de un incendio forestal; como respuesta inmediata o innata, el hombre trató de excluir el fuego del bosque, sin éxito alguno debido a que no se puede controlar el clima y los factores de ignición natural, provocando con ello la aparición de incendios mucho más intensos y difíciles de controlar; por lo anterior hubo la necesidad de estudiar el papel que juega en el bosque este factor ecológico, siendo los Estados Unidos uno de los primeros países en estudiar efectos positivos del fuego dando vida a una nueva área de investigación denominada ecología del fuego. Sin embargo, la idea

del fuego exclusivamente como agente destructor aún prevalece en México, mientras no se demuestre lo contrario; debido a que existen pocos trabajos de investigación que estudien efectos positivos en el ecosistema, comunidad o población, que periódicamente son afectados por el fuego.

El conocimiento de la ecología del fuego se ha multiplicado exponencialmente en las últimas décadas. La investigación sobre este tema entre otros rubros trata de conocer los efectos principales y secundarios de los incendios. Los efectos principales son aquellos que ocasiona un incendio directamente a través de la quema de combustible o por la emisión de calor, por ejemplo, la mortandad de árboles, consumo de materia orgánica del suelo, reducción del combustible y chamuscado de copas, entre otros. Los efectos secundarios son los que vienen después del incendio, por ejemplo, el cambio en la composición de especies y erosión por el viento y agua, entre otros. La investigación sobre la ecología del fuego ha avanzado en cuanto al conocimiento de los efectos sobre el crecimiento, los procesos de descomposición y la dinámica de los nutrientes, con y sin incendio. El efecto del incendio sobre el crecimiento de los árboles de algunas especies, se ha aclarado recientemente (Landsberg, 1994).

Nuestra decreciente dependencia de los bosques, terrenos arbolados y pastizales, unida a una población creciente y al cambio climático global con carácter incierto, confieren una gran importancia del manejo del fuego. Para el manejo del fuego parecen evidentes tres alternativas: 1. exclusión del fuego, 2. manejo pasivo del fuego y 3. manejo integrado del fuego (Goldammer y Manana 1996).

Nuestro país es de vocación forestal por contar con 141.7 millones de hectáreas, que representan aproximadamente el 72% de la superficie total; de las cuales 56.8 millones de hectáreas son arboladas, integrándose en bosques de coníferas y de latifoliadas, que cubren 30.4 millones de hectáreas, y por selvas altas, medianas y bajas con una extensión de 26.4 millones de hectáreas, las cuales generan un sinnúmero de bienes y servicios a la sociedad. Estas son afectadas en menor a mayor grado por incendios forestales; provocando con ello la disminución o degradación de este recurso, en conjunto con otros factores, tales como plagas y enfermedades, cambio de uso del suelo, tala clandestina y aprovechamientos irracionales; todo esto contribuye a una reducción anual considerable de la cobertura forestal en México, del orden de 508,000 ha al año (FAO,1999).

El estudio de los incendios es de gran importancia ya que el comportamiento del fuego en los bosques depende de muchos factores tanto climáticos, fisiográficos como características de la vegetación. Los incendios varían de acuerdo a su intensidad y los daños provocados a los árboles y rodales, que en su conjunto pueden ir desde quema de parte de sus raíces, corteza, daño en la copa (deshidratación o quema parcial de la copa) y quema total. El tipo de daño depende de las características del incendio, particularmente su intensidad y época del año.

Por tal motivo, el estudio del crecimiento de los árboles afectados por incendios es muy importante, ya que se podrá observar y analizar su respuesta en recuperación del follaje, emisión de rebrotes y la parte fundamental de este estudio, cómo afectará el

crecimiento del anillo anual posterior al incendio, con base en el porcentaje chamuscado de copa (parte de la copa quemada por el fuego o muerta por el calor del mismo).

Este tipo de trabajos son relevantes ya que al parecer no existen investigaciones en este ramo específico en México. Además representan una oportunidad para investigar posibles efectos positivos del fuego en los árboles de *Pinus hartwegii* Lindl. También, se proporciona información que puede resultar útil para el manejo del fuego en este ecosistema.

2. OBJETIVOS

1. Evaluar el efecto del chamuscado de copa en el crecimiento del anillo anual posterior al incendio y en algunas características tecnológicas del mismo.
2. Generar criterios para calificar el grado de afectación del fuego en el crecimiento del anillo anual, posterior al incendio, con base en el chamuscado de copa de *Pinus hartwegii*.
3. Analizar otras respuestas de los árboles al fuego, como la emisión de rebrotes y recuperación de follaje, con base en el porcentaje de chamuscado de copa.
4. Obtener un modelo que describa la relación entre crecimiento del anillo anual posterior al incendio y el porcentaje de chamuscado de copa.
5. Proporcionar información útil para manejo del fuego y sobre impactos de los incendios en el crecimiento de los árboles.

3. HIPÓTESIS

El crecimiento del anillo anual posterior al incendio está influenciado por el porcentaje de chamuscado de copa que sufrió el árbol, manifestándose un mayor crecimiento en árboles con chamuscado de copa ligero, y un menor crecimiento en árboles con un chamuscado de copa severo.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. ELEMENTOS BÁSICOS SOBRE INCENDIOS FORESTALES

Un incendio forestal es la propagación libre del fuego sobre la vegetación forestal.

Son tres los tipos de incendios: los superficiales, subterráneos y de copa. En los incendios superficiales, se consumen combustibles superficiales, como hierbas, zacates, leñas, hojarascas, etc., quemando la base de los árboles principalmente. Estos son los más comunes. En los incendios subterráneos se queman el mantillo y raíces bajo la superficie del suelo o la materia orgánica acumulada en las fracturas de grandes afloramientos de roca (malpaís). En los incendios de copa, el fuego consume la totalidad de los árboles, propagándose tanto de copa en copa como superficialmente. Aunque no es el más común es muy peligroso y difícil de controlar (Rodríguez, 1996).

Las causas de los incendios son naturales o provocadas por el hombre. En este último caso se dividen en accidentales, cuando se provoca un incendio sin haber tenido la intención de iniciarlo y sin que se haya provocado por descuidos en el uso del fuego en el monte; por negligencia, cuando se deriva del uso del fuego en terrenos agrícolas o en el monte por no haber tomado medidas para evitar que escapara hacia el bosque; y por intención, cuando se prende con un propósito determinado, cualquiera que éste sea (Rodríguez, 1996).

Las causas naturales, de las cuales las más comunes son los rayos, las menos frecuentes erupciones volcánicas y efusiones de lava, así como las muy raras chispas provocadas por caídas de piedras, posiblemente combustión espontánea, y los también escasos incendios provocados por aerolitos y cometas o fragmentos de éstos (Rodríguez, 1996).

Sin embargo, más del 90% de los siniestros son provocados por el hombre, con diversas necesidades y objetivos al hacer uso del fuego. Entre los principales objetivos por los que se quema en México (57 % de los incendios) está la limpia de terrenos con vegetación en los que se va a practicar agricultura; y en pastizales, para promover la emisión de rebrotes tiernos a efecto de alimentar al ganado (SEMARNAP, 2000).

4.2. BIOLOGÍA DEL CRECIMIENTO EN DIÁMETRO

Puesto que la presente investigación estudiará el efecto del fuego en el crecimiento en diámetro, es pertinente revisar los tejidos que lo producen y la dinámica del mismo.

El cambium vascular es una capa que generalmente se considera que tiene un espesor de una a dos células de tejido meristemático persistente, que se encuentran entre el xilema y el floema; está situado a lo largo de los lados del tallo y de la raíz. Este origina tejidos secundarios y da como resultado el aumento en diámetro. El cambium no es visible a simple vista, pero es esencial para la vida y el crecimiento de la planta.

A diferencia del crecimiento en altura asociado a la actividad de la yema apical y extensión del entrenudo, el crecimiento radial o de grosor del tallo es el resultante de las actividades del cambium vascular, el cual es conocido como “meristemo secundario”. El aspecto fundamental de este desarrollo es lo que se denomina división periclinal (división en el plano tangencial) de las células del cambium, dando origen a una serie de elementos de tipo floemático y xilemático alineados radialmente (Morey, 1977).

Durante el crecimiento activo en el cambium, las células iniciales y su inmediatas derivadas forman una zona de células meristemáticas, llamadas zona cambial. A ambos lados de la zona cambial, las células derivadas se desarrollan gradualmente y asumen las características propias de las distintas células del floema y xilema; así el crecimiento secundario originado en el cambium vascular se halla íntimamente relacionado con la actividad de las partes primarias del cuerpo de la planta y muestra fluctuaciones relacionadas con el estado fisiológico. Dado esto entre los árboles de vasos circulares y difusos, hay notables diferencias no solo en el comienzo de la producción del xilema y floema, sino también en la secuencia del inicio de la actividad del cambium en distintos puntos del tronco y de las ramas (Klepac, 1983).

En la zona del cambium tienen lugar dos tipos de división celular; una aditiva y otra multiplicativa. La aditiva implica una división periclinal (tangencial) del cambium. La multiplicativa consiste en una división anticlinal (radial), de las células del cambium que producen una expansión periférica y por lo tanto un aumento del diámetro (Morey, 1977).

El crecimiento en diámetro está en función al crecimiento en radio, el cual depende de la división celular del cambium, produce células de xilema para que éstas a su vez, produzcan madera, que en las coníferas se produce por los anillos anuales de crecimiento (Klepac, 1983).

Los anillos anuales, son círculos completos alrededor de la médula observados en un corte transversal del fuste, generados por el crecimiento anual en diámetro. La producción de anillos de crecimiento se cree que tuvo lugar en el paleozoico y mesozoico, como resultado de la acción de los factores externos sobre los sistemas fisiológicos del brote en crecimiento (Klepac, 1983).

Según Morey (1977), en condiciones normales un árbol produce un anillo de crecimiento por año; pero excepcionalmente se producen varios anillos por año (anillos falsos), estos anillos se forman de diferente manera:

1. Debido a una segunda floración en un período de crecimiento o después de la caída de las hojas.
2. Debido a un crecimiento discontinuo en el verano, que vuelve a ser activo al final de la misma estación de crecimiento.

Klepac (1983), señala que la anchura de los anillos anuales que varía desde unos milímetros hasta algunos centímetros y depende de muchos factores entre los que se encuentran:

1. La disponibilidad de luz
2. La temperatura
3. La humedad
4. El periodo vegetativo
5. Calidad del suelo
6. Duración de la estación de crecimiento
7. La competencia
8. El fotoperíodo
9. Factores externos como la defoliación por insectos
10. Los vientos

Sorprendentemente y a pesar de su abundancia, no se suele mencionar la defoliación por fuego, la cual será investigada en el presente trabajo.

Un anillo de crecimiento está conformado por madera temprana y por madera tardía. La madera temprana es el producto de las condiciones más favorables de crecimiento, debido a la disponibilidad de agua suficiente y a condiciones de altas temperaturas, lo que repercute en el desarrollo del metabolismo del árbol, dando como resultado un rápido crecimiento en diámetro, produciendo una madera ligera; por el contrario, cuando la temperatura desciende a partir de la segunda mitad del año, el ritmo de crecimiento en diámetro va disminuyendo, produciendo una madera cada vez más densa y marcando la diferencia con el anillo que se formará el siguiente año (Morey, 1977).

4.3. EFECTOS DEL FUEGO EN LAS PLANTAS

La respuesta de la planta al daño puede variar significativamente entre el tipo de incendio y en sus diferentes partes. La variabilidad en el calor producido por el incendio y las diferentes especies de plantas, afectan su respuesta al incendio. 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 mortandad 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. Las características inherentes de las plantas para responder al daño, dependen parcialmente del régimen de fuego al que están adaptadas (Miller y Findley, 2000)

4.3.1. MORTANDAD EN LAS PLANTAS

La mortandad de los tejidos de las plantas provocada por el fuego se relaciona con la temperatura alcanzada por el incendio y el tiempo de exposición a la misma. La temperatura más alta que pueden resistir las células de las plantas es de 50 a 55° C (Baker 1929; en Wright y Bailey 1982). Algunos tejidos pueden resistir una exposición de 60° C por sólo unos segundos. Los tejidos de las plantas pueden tolerar temperaturas

más altas, pero esta característica decrece con la edad. Las hojas de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco., pueden tolerar temperaturas de 70° C por sólo 0.01 segundos (Silen 1960, en Martín 1963). Adicionalmente, algunos tejidos de la planta, particularmente las yemas (meristemas o brotes) tienden a ser mucho más sensibles al calor cuando crecen rápidamente, ya que su contenido de humedad es alta. De esta manera, los tejidos de la planta mueren más fácilmente después de la exposición a elevada temperatura cuando están creciendo, que cuando estos están en reposo o ha terminado su crecimiento del año. Los tejidos de la planta susceptibles al calor no se exponen al calor directo, porque están protegidos por otros tejidos como la corteza, escamas del brote o pueden enterrarse en el humus o suelo. La mortandad de la planta depende del porcentaje del tejido dañado o muerto, la situación de tejido muerto, los mecanismos de reproducción y la habilidad de la especie para recuperarse de la lesión (Wright y Bailey 1982).

4.3.2. AFECTACIÓN DE LA COPA

Las características mas importantes de la copa son la densidad de las ramas, la proporción de materia viva y muerta, y la altura total (Brown y Davis 1973). Los brotes pequeños son susceptibles a ser calentados más a su temperatura letal debido a su masa pequeña. Los brotes grandes, como en algunos pinos, resisten más el calor. Para los coníferas, las hojas largas proporcionan mayor protección a los brotes que las hojas

cortas, ya que estas últimas dejan el brote expuesto directamente al calor (Wagener 1961, en Ryan 1982).

El contenido de humedad de las hojas nuevas, las hojas establecidas y las ramas pequeñas, fluctúa a lo largo de la época de crecimiento. Es más elevada durante el periodo de crecimiento de las hojas y brotes, y menor después de este periodo (Norum y Miller 1984). En las coníferas, el contenido de humedad del nuevo follaje sigue el modelo anterior (Gary 1971; Chrosciewicz 1986). El contenido de humedad influye en la combustión del follaje porque las hojas y ramas que tienen más agua requieren de una mayor cantidad de calor para alcanzar la temperatura de ignición. Las copas de las coníferas cuando está creciendo el tejido está menos protegido. El follaje de algunos arbustos, particularmente aquellos perennes, contienen compuestos inflamables que permiten que las hojas puedan quemarse más rápidamente (Countryman y Philpot 1970; Shafizadeh, *et al.*, 1977).

El chamuscado de copa del árbol es causado principalmente por temperaturas del frente del incendio (Wade, 1986). La altura a la que se chamuscan las copas, (altura de chamuscado de copa), puede estimarse con la longitud de llama, mediante un sistema de predicción del comportamiento del fuego, la temperatura ambiental y la velocidad del viento (Albini, 1976). El calor generado por la fase no flameante de la combustión cuando hay una alta concentración de combustibles, causa también el chamuscado de copas. El contenido de humedad del follaje de la copa afectada por incendio, es un buen indicador del impacto del fuego, porque se considera la proporción del follaje vivo que permanece en el árbol, Peterson, (1985). Para las coníferas con hojas cortas, árboles y arbustos con brotes pequeños, el chamuscado de copa, es a menudo equivalente a

muerte de copa, debido a la falta de protección de los brotes (Wade, 1986), y la baja resistencia al calor por los brotes pequeños y ramas.

El consumo de la copa es el resultado de la ignición de hojas y ramas. La ignición de las hojas ocurre aproximadamente a 220° C. En el caso de coníferas resistentes, con hojas largas y/o grandes, como *Pinus ponderosa* Laws., los brotes están bien protegidos. En los brotes de *Larix occidentalis* Nutt., que se encuentran en las ramas y tallo, el consumo de la copa es el mejor indicador de la mortandad. Para estas especies, la muerte de los brotes y ramas generalmente ocurre cuando el follaje es consumido por el fuego (Wade y Johansen, 1986).

4.3.3. AFECTACIÓN DEL TRONCO

Los árboles y arbustos pueden ser muertos por el calentamiento del cambium. La textura de la superficie de la corteza puede afectar su probabilidad de ignición, si es rugosa, lisa o inflamable. Su daño se relaciona con la resistencia de los troncos del árbol, y su espesor varía entre especies y edad. La capa del cambium de árboles de corteza delgada como *Pinus contorta* Dougl., *Abies lasiocarpa* (Hook.)Nutt., *Populus tremuloides* Michx., *Arbutus menziesii* Pursh., o la mayoría de las *Picea* spp. es muerta por la quema de su corteza. El calor liberado por el frente del incendio y la longitud de llama, pueden ser un buen indicador del daño y mortandad en especies de corteza delgada. La proporción del daño en el tronco puede ser un buen indicador de la mortandad para *Pseudotsuga menziesii*, después del porcentaje de chamuscado de la

copa (Ryan *et al.*, 1988). Una vez que el cambium del árbol está dañado por el fuego o por daño mecánico, a menudo es más susceptible a sufrir un daño adicional provocado por el mismo fuego, debido a que la corteza está más delgada cerca de la cicatriz, ya que sufre heridas.

El grosor de corteza, la textura y la presencia de heridas también puede afectar la probabilidad de mortandad de los troncos de los árboles. Sin embargo, debido al diámetro relativamente pequeño de la mayoría de los arbustos, estos son dañados por cualquier tipo de incendio que penetra en el dosel, a menos que el calor se presente en un periodo muy corto de tiempo (Ryan *et al.*, 1988)

4.3.4. AFECTACIÓN DE LA RAÍZ

Así como la copa y el tronco se utilizan como indicadores del daño en árboles y arbustos, existen características físicas y estructurales que reflejan daño por fuego en la raíz. Las raíces de apoyo que crecen cerca de la superficie son más susceptibles al daño y consumo. Las raíces encontradas sobre capas de materia orgánica son calentadas letalmente o consumidas mas fácilmente que las que se localizan en las capas del suelo mineral. Las raíces absorbentes, que abastecen de agua y nutrientes, son muy pequeñas en diámetro y se distribuyen normalmente cerca de la superficie. Si la mayoría de las raíces absorbentes se localizan en suelos con capas de materia orgánica en lugar de suelo mineral, éstas son sujetas a la exposición de la temperatura letal y consumo. Aunque no siempre se mata el árbol con este daño, sí se le puede poner bajo tensión significativa.

Si se ha excluido el fuego durante mucho tiempo en áreas que anteriormente tenían una frecuencia alta de incendios, las cantidades dañadas de raíces y tronco aumentan, ya que esto puede ser el resultado de incendios subterráneos, en acumulaciones de materia orgánica debajo de los árboles (Herman 1954; Wagener 1955; en Wade y Johansen, 1986).

El daño a las raíces y las partes superficiales de las plantas no se puede predecir mediante el comportamiento del fuego de un incendio superficial, ni por cualquier descripción de un incendio superficial, como la intensidad de la línea del fuego y longitud de llama. Las temperaturas alcanzadas en el frente del incendio pueden ser sumamente altas, pero la mayoría de ese calor se dirige hacia arriba. La mortandad de las partes subterráneas de la planta está en función del tiempo de residencia total al fuego y del tiempo que la fuente de calor está presente (Wade, 1986).

En el caso de incendios subterráneos los regímenes del fuego están relacionados por la cantidad de combustible disponible, la cantidad y tamaño de los combustibles, cantidad de humus y su contenido de humedad.

La intensidad del daño, como una medida cuantitativa de la cantidad consumida de los combustibles superficiales y capas de humus, es un indicador del calentamiento de la superficie. La humedad retarda la penetración del calor en las capas del suelo (Shearer 1975; Frandsen y Ryan 1986), y así se protegen las estructuras subterráneas de la planta. Existe una relación entre el calor por unidad de área, la cantidad total de calor liberado en la combustión y el daño a la raíz, particularmente si sólo existe una capa delgada de combustible. Sin embargo, si existen acumulaciones de material pesado de

combustibles en la superficie o existen capas de materia orgánica, su consumo con llama y sin llama es el mejor indicador del calor generado en la parte subterránea del suelo. Cabe señalar que puede haber un daño considerable en el consumo de raíces aún cuando se de un daño pequeño o nulo en la copa del árbol o arbusto (Geiszler et al. 1984; en Wade y Johansen 1986). La proporción del efecto del fuego en el árbol, puede ser estimada indirectamente conociendo el daño de las raíces y de las estructuras reproductoras subterráneas.

4.4. CHAMUSCADO DE COPA

Se entiende como la quema directa o deshidratación que sufren los tejidos vegetales de la copa de los árboles debido al calor del fuego. Tal chamuscado, cuando se deriva de incendios naturales, es un factor que contribuye a la poda natural de los árboles (Rodríguez, 1996). A continuación se detallan sus efectos en fenómenos como crecimiento y mortandad.

4.4.1. CRECIMIENTO EN DIÁMETRO Y ALTURA

En términos generales, se ha encontrado para el caso de algunas pináceas, que cuando sufren un chamuscado de copa menor al 30%, el crecimiento en diámetro y a veces en altura se ve favorecido, con respecto a los árboles control, debido a que se eliminan ramas y hojas viejas de la copa baja que son menos eficientes fotosintéticamente; cuando se afecta una proporción de copa entre el 30-60%, el

crecimiento es similar al de árboles que no sufrieron algún daño en su copa; en cambio, al afectarse una proporción mayor del 60% de la copa, el crecimiento en diámetro es reducido o cesa. Esta tendencia se presenta en la siguiente temporada de crecimiento que sigue al incendio si el fuego mata las yemas terminales el árbol muere.

Estos resultados se han encontrado en las siguientes especies: *Pinus elliotti* Engelm (Johansen, 1975; Wade, 1983; Johansen y Wade 1987), *P. pinaster* Ait. (Ronde, 1983), *P. taeda* L., (Weise *et al.*, 1987; Lilieholm y Hu, 1987; Dougherty (Com.Pers; citado por Chambers *et al.*, 1986;), *Pinus palustris* Mill., (Bruce, 1951; Bruce y Bickford, 1950; Grelen, 1983); *Pinus ponderosa* Laws., Landsberg, *et al.*, (1984, citados por Rodríguez, 1996); *Pinus ponderosa* var. *ponderosa* Douglas. (Morris y Mowat, 1958; Cooper, 1960; Van Sickle y Hickman, 1959; Weaver, 1968), *Abies concolor* (Gord y Glend.) Lindl., *Pinus lambertiana* Duogl., (Mutch y Parsons, 1998) y *Larix occidentalis* (Schmidt *et al.*, 1983; Schmidt, *et al.*, 1976).

Estas respuestas pueden variar para las mismas especies y en otras, según la época de quema, las condiciones de la masa forestal (edad, altura del arbolado, diámetro normal). Por ejemplo, en *Pinus taeda* L. y *Pinus ponderosa*, un incendio de verano causa mayor daño debido a que los brotes están activos (Lotti, 1959; Landsberg *et al.*, 1984). La fase de crecimiento en altura, en brinzales de *Pinus palustris*, es muy susceptible (Garren, 1943; Langdon, 1971). Para *Pinus echinata* Mill., el chamuscado de copa produce pérdidas de crecimiento en los brinzales (Garren, 1943).

Los efectos mas importantes se deben al chamuscado de copas al enriquecimiento del suelo con nutrientes proveniente de las cenizas, y a la reducción de la competencia interespecífica e intraespecífica (Rodríguez, 1996). Schmidt y Shearer (1990) mencionan que el aumento en altura de *Larix occidentalis*, puede deberse a los cambios de nutrientes, infiltración del agua y cambios de la vegetación.

Por otro lado, investigaciones realizadas en latifoliadas muestran lo siguiente: Para el genero *Eucalyptus*, el chamuscado de copa aumenta el crecimiento en diámetro porque se regenera una copa más eficiente y se abate la producción de semillas Kimber (1978; citado por Waldrop y Van Lear 1984). Asimismo, Kellas *et al.* (1984) encontraron que existe una reducción temporal apreciable en el incremento en área basal en árboles dominantes y codominantes de *Eucalyptus obliqua* Lhérit., que sufrieron un chamuscado de copa mayor del 50%.

Minnich (1980), Talley y Griffin (1980), Tesch y Hobbs (1986) y Mallory (1980) mencionan que *Quercus chrysolepis* Liebm., generalmente crece muy bien después de un incendio, incluyendo los brinzales.

4.4.2. RECUPERACIÓN DEL FOLLAJE

Esta variable es una de las menos estudiadas en relación a este tema. En general, se ha encontrado para *Pinus elliottii*, que su follaje chamuscado se reemplaza rápidamente por nuevos retoños y que los brinzales pueden recuperarse de un chamuscado de copa total (De Ronde, 1982; y Wade, 1983). En el caso de *Larix*

occidentalis, el crecimiento del follaje comienza poco después de chamuscarse (Ryan y Reinhardt, 1988).

4.4.3. EMISIÓN DE REBROTES

La emisión de rebrotes es común en los encinos debido a que tienen la capacidad de regenerarse por vía asexual (rebrotos); en las coníferas son menos frecuentes pero se presenta, especialmente en las etapas jóvenes después de los incendios. Estos se pueden presentar en el cuello de raíz, tronco y yemas de las hojas. La cantidad de rebrotes depende de la intensidad del fuego. Estos disminuyen conforme el rebrote líder se desarrolla hasta suprimir a todos los demás.

Algunos ejemplos de encinos arbóreos o arbustos que rebrotan luego de ser afectados por incendios son *Quercus chrysolepis* Liebm. (Minnich, 1980; Plumb, 1980), *Quercus agrifolia* Née. (Plumb y Gómez, 1983), *Quercus frutex* Trel. y *Q. microphylla* Née. (Rzedowski, 1981 y Rodríguez, 1996).

Algunas especies de coníferas en que se ha visto esta respuesta son *Pinus echinata* (Walker y Wiant, 1966; Komarek, 1982); *Pinus strobus* L. (Wade *et al.*, 1989); *Pinus rigida* Mill. (Buchholz y Good, 1982); *Pinus radiata* D. Don., *Pinus rudis* y *Pinus hartwegii* (Rodríguez, 1996)

4.4.4. MORTANDAD

En términos generales, se ha encontrado para las coníferas que un árbol puede perder todo el follaje de su copa, por efecto del calor del fuego. Si las yemas terminales sobreviven, el árbol es capaz de regenerar parte de su follaje, pero si las yemas terminales mueren, el árbol también muere (Rodríguez, 1996). Se han desarrollado modelos para predecir la mortalidad de árboles después de un incendio y la mayoría de los autores consideran como variables principales al diámetro del árbol, la altura de chamuscado, el porcentaje de chamuscado de copas y el grosor de corteza.

Se ha encontrado que las quemas de primavera causan mas daño que las que se presentan al comienzo del invierno debido a que en este último caso los tejidos de la planta están en reposo y se alcanzan menores temperaturas.

Algunos ejemplos en los que se ha estudiado este fenómeno y se han desarrollado modelos para predecir la mortalidad son: *Pinus ponderosa* (Harrington, 1987); *Pinus ponderosa* var. *ponderosa* (Lampi, 1960; Saveland y Neuenschwander, 1989); *Pinus elliottii*, (McCulley, 1950; Van Loon, 1967); *Pinus taeda* (Cooper y Altobellis, 1969; Ferguson, 1955; Villarrubia y Chambers, 1978; Waldrop y Lloyd, 1988); *Pinus palustris* (Boyer, 1990; Langdon, 1971; Maple, 1970); *Pinus ponderosa* (Harrington, 1993); *Pseudotsuga menziesii* (Wyant *et al.*, 1986); *Pinus ponderosa* var. *scopulorum* Engelm. (Alexander, 1987; Biswell *et al.*, 1973; Fischer y Clayton, 1983; Fowells, 1965; Ryan, 1982); *Pinus resinosa* Ait., *Pinus taeda* (Methven, 1971); *Pinus echinata* (Ferguson, 1955; Walker y Wiant, 1966); *Pinus strobus* (Little, 1974; Methven,

1971; Van Wagner y Methven, 1978; Wade *et al.*, 1989); *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* (Mayr) Franco. (Wyant *et al.*, 1986); *Pinus halapensis* Miller. (Lovreglio y Fidanza, 1999), *Pinus coulteri* D. Don. (Horton, 1949; Vale, 1979); *Abies concolor* (Gord y Glend.) Lindl., *Pinus lambertiana* Dougl. (Mutch y Parsons, 1998), *Pinus radiata* (De Ronde, 1982,1990), *Larix occidentalis* (Fischer y Bradley, 1987; Schmidt y Shearer, 1990; Ryan y Reinhardt, 1988), *Pinus monophylla* Torr. Et Frem. (Arno, 1985; Chambers *et al.*, 1999; Everett *et al.*, 1986), *Pinus rigida* (Barden y Woods, 1976; Langdon, 1971) y *Juniperus ashei* Buchh. (Wink y Wright,1973; Armstrong, 1980; Vallentine, 1971).

Algunos ejemplos de latifoliadas son: *Quercus petrae* (Mattuschka)Liebl. y *Q. pubescens* Wild. (Anfodillo y Mauri, 1997), *Quercus virginiana* Mill., *Quercus laurifolia* Michx., y *Persea borbonia* (L.) Raf. (Bratton, 1993), *Quercus chrysolepis* (Plumb, 1980; Plumb y Gómez, 1983), *Quercus agrifolia* (Dougherty y Riggan, 1982; Plumb, 1980) y *Eucalyptus globulus* Labill., (Ashton, 1981; Skolmen y Ledig, 1990; Colwell, 1973; Gill, 1977).

4.4.5. GROSOR DE CORTEZA

Es importante mencionar que el grosor de corteza juega un papel muy importante en la sobrevivencia de los árboles que son afectados por incendios, ya que funciona como aislante térmico, y mientras más delgada sea ésta, aumenta la posibilidad de daño al cambium vascular por el calor de las llamas, y por lo tanto la mortandad del árbol.

Kreith (1965, en Rodríguez, 1996), desarrolló un modelo con el cual se puede calcular el tiempo en minutos requerido para elevar la temperatura del cambium bajo la corteza hasta los 60° C, con base en la temperatura exterior de la corteza durante el paso del fuego, la temperatura ambiente de la corteza, el grosor de ésta y la difusividad térmica de la misma.

Algunas especies en las cuales el grosor de corteza juega un papel muy importante en la sobrevivencia ante incendios son: *Pinus ponderosa* var. *ponderosa* (Wright, 1978; Saveland y Bunting, 1988; Ryan y Frandsen, 1991; Henderson, 1967; Wyant *et al.*, 1986); *Pinus strobus* (Little, 1974; Wright y Bailey, 1982); *Pinus monophylla* (Keeley y Zedler, 1998); *Pinus ponderosa* var. *scopulorum* (Flint, 1925; Gill, 1974) *Pinus rigida* var. *latifolia* Mill. (Peterson y Arbaugh, 1986; Lotan *et al.*, 1985); *Pinus flexilis* James. (Keeley y Zedler, 1998; Pfister *et al.*, 1977; Steele, 1990) y *Quercus chrysolepis* (Minnich, 1977; Minnich, 1980; Plumb y McDonald, 1981).

4.5. *Pinus hartwegii*

4.5.1. ASPECTOS GENERALES

Pinus hartwegii, es una especie típica de zonas templadas de México. Forma masas puras de varias decenas de kilómetros cuadrados, especialmente, en los volcanes más altos de la región central, donde ya no prosperan otras especies de *Pinus*, arriba de los 3,000–3,700 ms.n.m. (Eguiluz, 1978; Hernández, 1985; Solórzano, 1987; Perry, 1991). Representa comunidades clímax y, en las partes más bajas, alcanza entre 15 y 20

metros de altura, pero hacia los 4,000 ms.n.m el bosque es chaparro, abierto y los individuos que lo constituyen alcanzan alturas de apenas 5-8 metros (Rzedowski, 1983).

4.5.2 DISTRIBUCIÓN

Perry (1991), reporta que *Pinus hartwegii* se encuentra en los siguientes estados: Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Tlaxcala, México, Distrito Federal, Morelos, Colima, Michoacán, Jalisco, Oaxaca y Chiapas. En Guatemala, se reporta en los siguientes lugares: Huehuetenango, Totonicapán, Quezaltenango, Quiché, Sosola, San Marcos, Chimaltenango, Sacatepequez y Guatemala (Figura 1). También es reportado en Honduras, en el Cerro de Santa Bárbara. Habita en climas templados, subhúmedos, mesotermos, con lluvias deficientes en invierno del tipo Cwc (semifrios húmedos con veranos cortos) (García, 1973); las precipitaciones oscilan entre 700 y 1,800 mm; con temperatura media de 12° C, con extremas máximas de 38° C y mínimas hasta de -20° C en los volcanes (Eguiluz, 1978; Santillán, 1991 y Solís 1994). Esta especie crece sobre suelos profundos, ricos en materia orgánica, buen drenaje y texturas franca y migajon arenosa (Look, 1950).

4.5.3. ANATOMÍA DE LA MADERA

La madera es de color rojizo (blanco-amarillento), sin diferencia aparente entre albura y duramen, se caracteriza como dura y pesada en cuanto a su densidad básica (gravedad específica)(Eguiluz, 1978).

Larios (1979), refiere que la densidad básica (peso anhidro entre el volumen verde) de esta especie puede oscilar entre 0.330 y 0.590 g/cm³, con media de 0.438 g/cm³, 0.048 veces mayor que el reportado como promedio para esta especie por Caballero (1967).

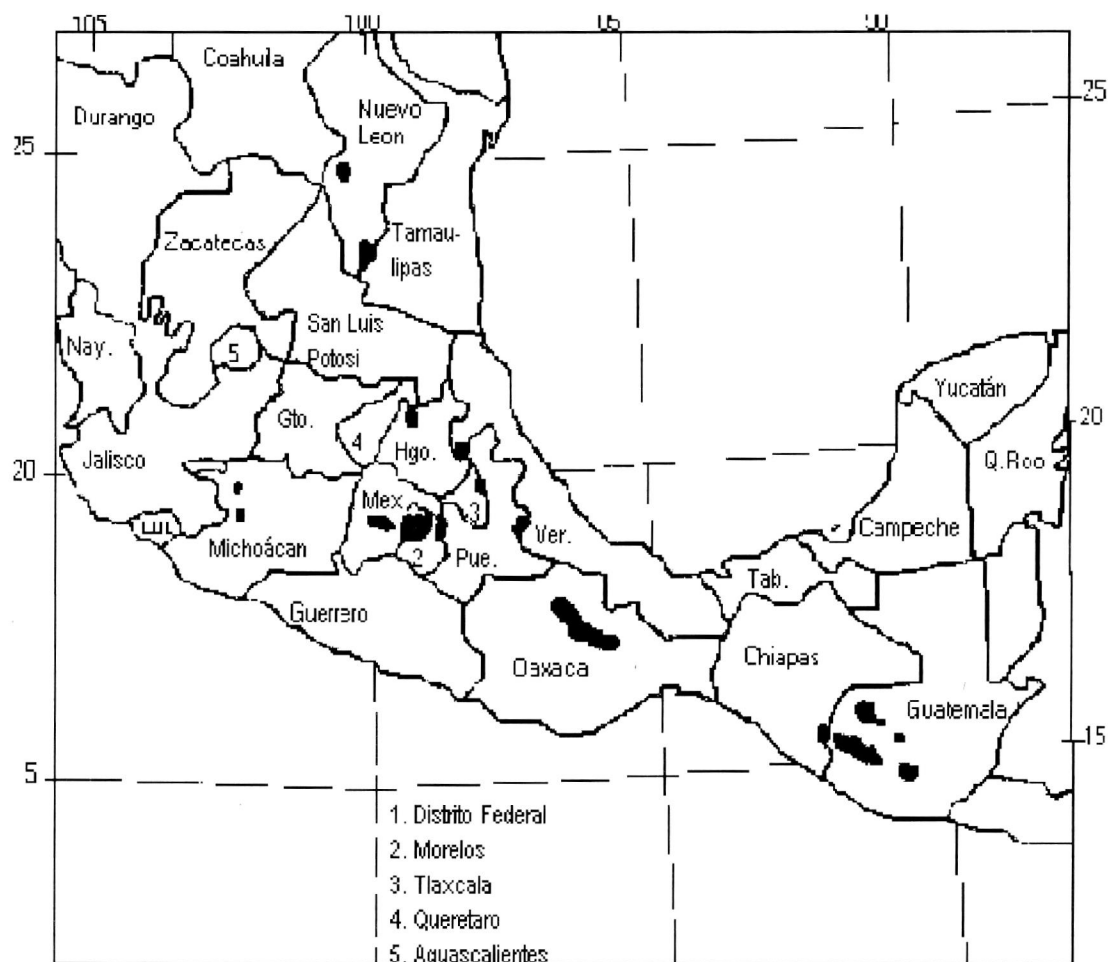


Figura 1. Distribución de *Pinus hartwegii*. (Tomado de Perry, 1991).

Los anillos anuales de crecimiento están dispuestos de manera regular, con aproximadamente dos anillos por centímetro; la madera de primavera es de color

amarillo claro y de mayor grosor que la de verano, de color café; la transición es gradual (Ortega, 1952; Manceras, 1956; Eguiluz, 1978).

4.5.4. ALGUNOS FACTORES FÍSICOS Y BIOLÓGICOS QUE AFECTAN SU CRECIMIENTO

4.5.4.1. CALIDAD DE ESTACIÓN

Orantes (1980), encontró que la calidad de estación basada en las características dasométricas de los árboles y las características edáficas del lugar, afecta el crecimiento de esta especie. Halló que existe una alta correlación entre las características edáficas (profundidad de los horizontes del suelo) y la altura dominante de los árboles; entre el incremento en altura y el contenido de materia orgánica en el horizonte “A”; entre el incremento en diámetro y la capacidad de retención de humedad en el horizonte “B”, y entre la altura de fuste limpio y con el contenido de arcilla promedio.

4.5.4.2. FUEGO

Sarukhán y Franco (1981), mencionan 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.

Pinus hartwegii con frecuencia presenta la corteza ennegrecida debido a los incendios frecuentes que lo afectan; (Rzedowski, 1983); sin embargo se pueden hacer estudios dendrocronológicos en esta especie, para conocer el régimen de fuego a que está sujeto éste pino.

4.5.4.3. VIENTO

Aparentemente no afecta el crecimiento pero ha provocado daños considerables en áreas boscosas de la Sierra Nevada (Solís, 1994).

4.5.4.4. HIELO Y NIEVE

Es muy tolerante a temperaturas bajas, es resistente a nevadas fuertes y su extremo superior de intervalo altitudinal establece el límite de la vegetación arbórea en los más prominentes picos montañosos de México (Rzedowski, 1983).

4.5.4.5. ENFERMEDADES

Este pino es afectado, frecuentemente por muérdagos (*Arceuthobium globosum* Hawks y Wiens y *A. vaginatum* Wild.), y estas plantas semiparásitas reducen las tasas de crecimiento de los árboles (Solís, 1994). Andrade (1981), encontró que los muérdagos (*Arceuthobium globosum* Hawks y Wiens y *A. vaginatum* Wild.) reducen la longitud de la hojas de 14.9 a 9.38 cm, reducen también el crecimiento en diámetro, altura, volumen y existe un mayor tiempo de paso; el incremento corriente anual y el incremento medio

anual son menores y se entrecruzan más rápido en los árboles enfermos que en los sanos. El último autor desarrolló modelos estadísticos con los cuales se puede predecir el efecto de estas plantas sobre el árbol en todas las variables antes mencionadas en base al daño observado.

4.5.4.6. INSECTOS

Se tiene información de que *Gnathotrichus sulcatus* (Le Conte) infesta fuertemente a *P. hartwegii*; además son altamente susceptibles al ataque de *Dendroctonus adjunctus* (Ogaz y Cibrián, 1980). Otros insectos menos importantes son: *Conophthorus ponderosa* Hopkins, *Dioryctria erythropasa* (Dyar), *Apolychrosis synchysis* Pogue, *Cecidomia bisetosa* Gagné, que atacan los conos; *Pityophthorus aztecus* Brig., *Eucosma sonomana* Kearfott, *Rhyacionia cibriani* Miller, *Retinia edemoidana* (Dyar), que atacan los brotes y yemas; *Pandeleiteius viridiventris* Champion, *Lophocampa alternata* (Grote), *Neodiprion omosus* Smith, son defoliadores; *Chionaspis pinifoliae* (Fitch), es un chupador de savia; otros insectos que atacan el cambium de los árboles son: *Dendroctonus mexicanus* Hopkins y *Dendroctonus parallellocollis* Chapuis.

4.5.5. SUCESIÓN

Rzedowski (1983), considera que esta especie de pino forma comunidades clímax. Beaman (1962), considera que entre los 3,700 y los 4,300 ms.n.m, el *P. hartwegii* domina las comunidades debido a que está mejor adaptado las bajas

temperaturas y a la pobreza del suelo, y a que 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)

4.5.6. IMPORTANCIA

La importancia de esta especie radica en que es la especie arbórea que se desarrolla en las mayores elevaciones sobre el nivel del mar en nuestro país, cumpliendo así funciones de protección (Caballero, 1967). La utilización primordial de la madera de *Pinus hartwegii* es para celulosa, papel, pulpa química y pasta mecánica, debido a la ubicación de las industrias. En segundo lugar se utiliza para aserrío, chapa, triplay y tableros de partículas (Eguiluz, 1978; Hernández, 1985; Solórzano, 1987). Otros usos son: durmientes, postes para cercas, pilotes, trozo para combustible y para carbón (Eguiluz, 1978).

Con base en sus propiedades físicas, los principales usos de la especie son: para la elaboración de postes y durmientes, obtención de pulpa y derivados celulósicos y material para construcción, empleando la madera de mejor calidad (Ortega, 1952).

En la región Central de México, el proceso de transformación de la madera de *Pinus hartwegii* y otras especies en productos de valor agregado mayor, principalmente celulosa y papel, representa una fuente de satisfactores monetarios tanto para los industriales encargados del proceso de transformación, como para los poseedores del recurso bosque; para estos últimos es una fuente de empleo (Solís, 1994).

Esta especie ha sido recomendada para plantaciones comerciales y como ornato en campos deportivos (Eguiluz, 1978; Solórzano, 1987; Hernández, 1985). Sin embargo, su tasa de crecimiento no la hace un candidato excelente para plantaciones de tipo comercial (Solís, 1994). Asimismo, esta especie, está relacionada con áreas boscosas utilizadas para la recreación y esparcimiento dentro de varios parques nacionales del país que incluyen tierras altas.

Así, dada el área de distribución de esta especie en la Región Central de México, caracterizada por una densidad de población elevada en varias localidades, los bosques constituidos por *P. hartwegii* y otras especies cumplen eficazmente su función recreativa y de protección a otros recursos; el primer caso, posiblemente el esparcimiento de los habitantes de las zonas metropolitanas próximas a las áreas arboladas y, en el segundo, amortiguando los efectos de la contaminación ambiental existente en las regiones, además actúa como regulador del ciclo hidrológico producto de la lluvias y deshielo de los volcanes y como alimentador de los mantos freáticos del Valle de México (Solís, 1994).

Respecto a su importancia para la investigación, ésta es una de las especies de coníferas más importantes, varios trabajos de investigación han sido desarrollados en torno a este pino. Lo anterior se debe al menos en partes, a que está próxima a las instituciones de enseñanza e investigación forestal, enclavadas en la región donde se desarrolla aquella (Solís, 1994)

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El parque Nacional Desierto de los leones, se encuentra situado al suroeste de la Ciudad de México, en la Delegación Política de Cuajimalpa. Está situado entre las coordenadas 19° 20' y 19° 15' latitud norte y 99° 18' y 99° 20' longitud oeste, y cuenta con una altitud media de 3 250 m s.n.m (Fernández, 1985). El parque ocupa una superficie de 1,529 ha. Fisiográficamente se encuentra dentro de la provincia del Eje Neovolcánico (Figura 2).

El clima es, según la clasificación de Köppen (1948), modificada por García (1973), el siguiente: C(w2)(w)(b')ig, que significa un clima semifrío, el más húmedo de los semifríos subhúmedos, con lluvias en verano, isothermal (oscilación de la temperatura media entre el mes más caliente y el mes más frío menor de 5° C), presentándose el mes más caliente antes de junio.

El Parque tiene como principales especies arbóreas a *Abies religiosa* (H.B.K) Schl. et cham, a *Pinus hartwegii*, y otras latifoliadas (Fernández, 1985). Este pino se localiza en el extremo sur del Parque, en el cerro de San Miguel, entre los 3,450 y 3,750 m s.n.m.

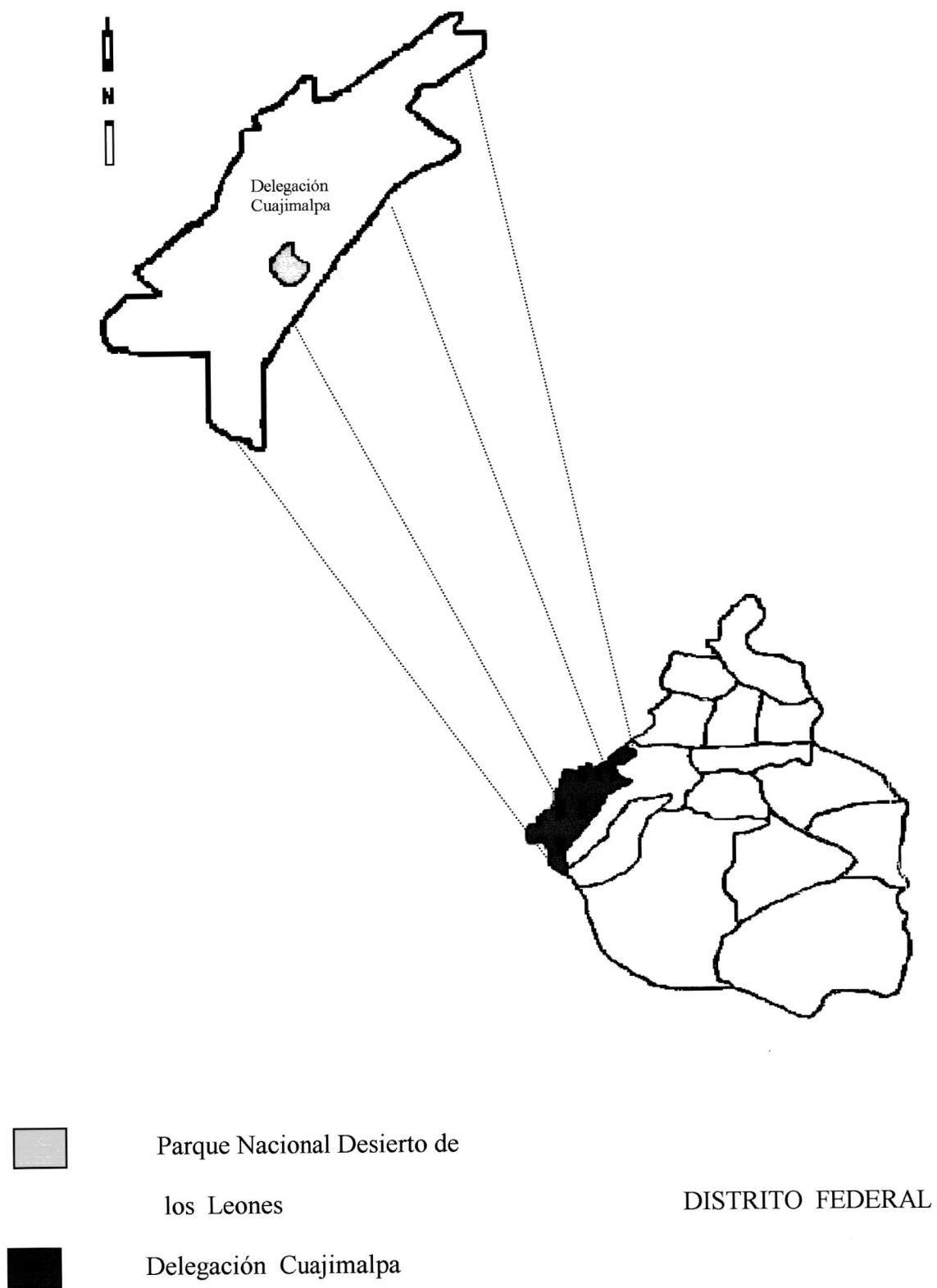


Figura 2. Mapa de localización del área de estudio.

5.2. SELECCIÓN DEL ARBOLADO

En el cerro de San Miguel y parajes aledaños, se eligieron áreas con *Pinus hartwegii* incendiadas en un lapso anterior de no más de una semana o quemadas de manera prescrita para formar líneas negras, también en un lapso anterior de no más de una semana. Las fechas de incendio y quemas fueron, respectivamente, 17 y 14 de marzo del 2000. Las áreas seleccionadas tuvieron las siguientes características (figuras 3 y 4).

- 1.- Árboles de crecimiento libre (para evitar efectos de competencia)
- 2.- Árboles con diferente nivel de chamuscado de copa (0-100%)
- 3.- Diámetro, altura total y altura de copa similares
- 4.- Sin daño físico, libres de plagas y enfermedades.
- 5.- Un diámetro normal mayor de 10 cm
- 6.- Altura total mayor a 2 metros.

Una vez seleccionada el área y los árboles se procedió a la obtención de la información.

5.3. OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la obtención de la información se dividió la toma de datos en dos etapas principales, de campo y laboratorio, que se describen a continuación.



Figura 3. Área quemada donde se observa el chamuscado de copas que sufrió el arbolado de la especie *Pinus hartwegii*, durante un incendio de baja intensidad, en el paraje “Cerro de San Miguel”, Parque Nacional Desierto de los Leones, D.F.



Figura 4. Línea negra donde se aprecia el chamuscado de copas que sufrieron los árboles de la especie *Pinus hartwegii* en el paraje “Cerro de San Miguel”, Parque Nacional Desierto de los Leones, D.F.

5.3.1. Levantamiento de la información en campo

Esta etapa se dividió en dos fases, la primera toma fue una semana después del incendio o quema, y la segunda un año después del incendio, considerando que la etapa de crecimiento tanto de madera temprana y tardía había concluido. La primera toma de datos se realizó a inicios del mes de marzo de 2000. Previamente se elaboraron los formatos para la toma de datos en campo conteniendo las principales variables de interés (Anexo 1). Para calificar el porcentaje de chamuscado de copa afectado por árbol se elaboró una tabla de intervalos en porcentaje y figuras de árboles, donde se puede comparar su daño, con la finalidad de tener mas precisión y agilizar el levantamiento de la información, y así evitar posibles errores de apreciación. Asimismo se elaboraron formatos para calificar la forma del fuste, forma de la copa, el tipo de daño y el tipo de crecimiento (figuras 5 y 6).

5.3.1.1. Primera medición en campo

A). Árboles con chamuscado de copa

Después de seleccionar el área y los árboles de interés, se levantó la información en forma individual, por árbol, a un total de 103 árboles, midiéndose las siguientes variables:

1. Datos generales del área: Paraje, altitud, pendiente, exposición, dirección de la que vino el fuego, fecha en que se presentó el incendio o quema, y fecha de levantamiento de la información.

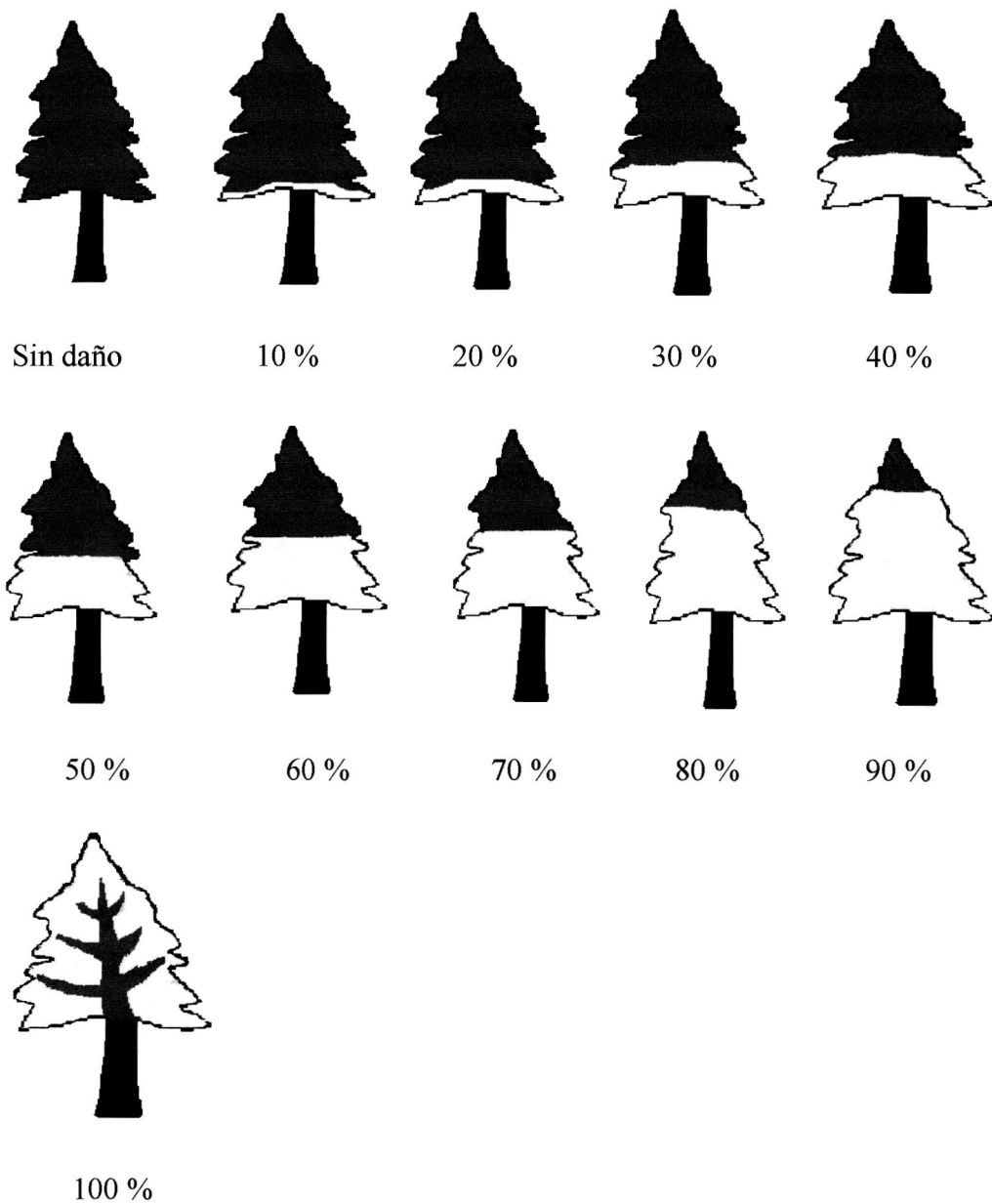


Figura 5. Imágenes que fueron utilizadas para calificar el porcentaje de chamuscado de copa en *Pinus hartwegii*.

Tipo de crecimiento:



Libre



Límite



Con competencia

Tipo de daño:

Tipo de daño	1. Muerto en la punta
	2. Ocoteado
	3. Dañado por incendio
	4. Muérdago
	5. Insectos
	6. Hongos

Forma del fuste:

Forma	1. Recto
	2. Bifurcado
	3. Ensanchado

Forma de la copa:

Forma	1. Redonda
	2. Cónica
	3. Irregular

Figura 6. Tipos de crecimiento, forma del fuste, tipo de daño y forma de la copa en los que se desarrolla y presenta *Pinus hartwegii*.

El nombre del paraje se obtuvo preguntándole a las brigadas contra incendio del lugar; la altitud sobre el nivel del mar se determinó utilizando un altímetro; la pendiente se determinó utilizando el clinómetro Suunto; la exposición y la dirección de la que vino el fuego utilizando una brújula marca Silva, la fecha de quema se obtuvo indagando con las brigadas contra incendio del lugar. La cicatriz de quemado en el fuste del árbol se obtuvo directamente midiéndose con flexómetro.

2. Datos del árbol: Altura total, altura de copa, altura y porcentaje del chamuscado de copa, largo de la copa, altura de cicatriz de quemado en el fuste, forma de la copa, diámetro de copa, forma del fuste, diámetro normal, grosor de corteza, número de verticilos, presencia de conos, si existe liberación de semilla de los árboles, plagas y enfermedades, edad y ancho del último anillo anual.

Antes de iniciar la medición, se marcó con pintura en “Spray” asignándole un número progresivo a cada árbol, para llevar el control de los mismos y para realizar mediciones posteriores. Primeramente se midieron la altura total, altura de la copa, altura de chamuscado en forma directa utilizando la Pistola Haga y se calificó el porcentaje de chamuscado de copa afectado. El largo de copa se obtuvo por diferencia entre la altura total y altura de copa; la altura de la cicatriz de quemado se obtuvo en forma directa midiéndose con un flexómetro; para clasificar la forma de la copa, se le asignó una categoría de clasificación a cada árbol muestreado: El diámetro de copa se obtuvo con una cinta métrica; la forma del fuste se determinó mediante observación directa asignándole a los árboles la categorías según el caso: recto, bifurcado o ensanchado. El diámetro normal se obtuvo con una cinta diamétrica, a una altura de 1.3 metros a partir

de la base del árbol. El grosor de corteza se obtuvo con la ayuda de un medidor de corteza, esta medición se realizó en el mismo lugar donde se hizo la medición del diámetro normal. El número de verticilos se determinó visualmente contándose desde la base del árbol hasta la punta del árbol (figura 7).

Además de lo anterior, se extrajeron dos virutas por árbol (una a favor de la pendiente y la otra en contra de la pendiente), arrojando un total de 206. Estas muestras se obtuvieron con el taladro de Pressler, de 5 mm de diámetro, a la altura del diámetro normal (1.3 metros). Estas virutas permitieron determinar edad y el ancho del último anillo anual, correspondiente al ciclo de crecimiento previo al incendio. Estas muestras fueron guardadas en popotes para una mayor facilidad en cuanto a transporte, conservación e identificación. Para conservar las muestras libres de hongos, fueron saturadas con agua, haciéndose el cambio de agua cada 15 días, hasta que concluyeron los análisis.

B). Árboles control

Se levantó información a 50 árboles control o testigo, los cuales se ubicaron cerca del área quemada a menos de 20 metros de distancia, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos entre individuos chamuscados y no chamuscados.

1. Datos generales del área: Igual que en el caso anterior.

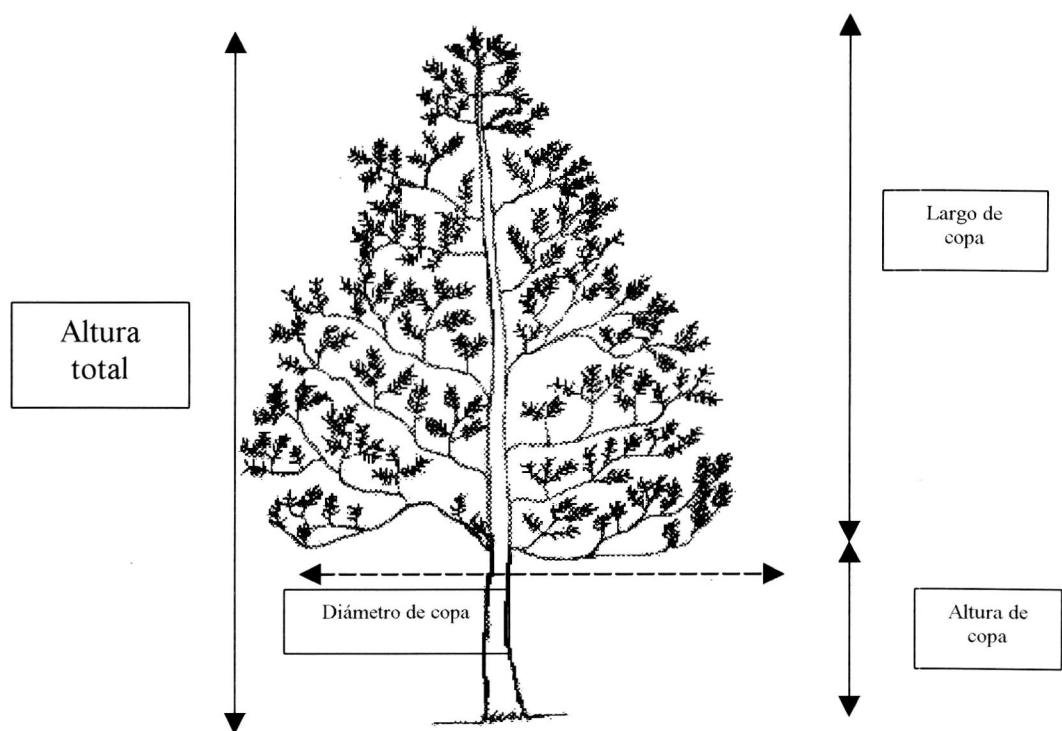


Figura 7. Algunas variables medidas en los árboles muestreados.

2. Datos del árbol: Altura total, altura de copa, largo de la copa, forma de la copa, diámetro de copa, forma del fuste, diámetro normal, grosor de corteza, número de verticilos, si existe liberación de semilla de los árboles, presencia de conos, plagas y enfermedades, edad y ancho del ultimo anillo anual.

Las formas de medición y equipo fueron los mismos que en el caso anteriormente referido.

Además de lo anterior se extrajeron dos virutas por árbol (una a favor de la pendiente y la otra en contra de la pendiente), dando un total de 100 virutas, obtenidas y conservadas según se explico anteriormente.

5.3.1.2. Segunda medición en campo

Los mismos individuos muestreados en marzo del 2000, fueron nuevamente medidos en marzo del 2001.

A). Árboles con chamuscado de copa

1. Datos generales del área: Iguales que en los casos previos.

2. Datos del árbol: Los mismos que los referidos anteriormente, pero incluyendo número de rebrotes, que se determinó en forma directa contándose en la base de los fustes de cada árbol los rebrotes que tuvieron en el año a causa del incendio. Asimismo, se incluyó la recuperación del follaje de la copa, que se obtuvo por diferencia entre la copa anterior y la copa nueva.

Además de lo anterior se extrajeron dos virutas por árbol (una a favor de la pendiente y la otra en contra de la pendiente), arrojando un total de 206, para evaluarlas y conservarlas según se mencionó anteriormente.

B). Árboles control

Para la segunda toma de datos en los árboles control únicamente se consideraron las siguientes variables.

1. Datos generales del área: Igual que en los casos previos.

2. Datos del árbol: Las mismas variables que fueron tomadas para los árboles control un año antes, incluidas 100 virutas.

5.3.2. Análisis de laboratorio.

El análisis se realizó para cada una de las virutas extraídas, en el laboratorio de Anatomía de la Madera, de la División de Ciencias Forestales, de la U.A.Ch.

Se determinaron las siguientes variables:

1. Edad: Con la ayuda del microscopio-estereoscopio y la lámpara de fibra óptica, mediante los cuales se identificaron y señalaron todos los anillos (madera temprana y tardía), desde la periferia de la viruta hasta la médula o centro del árbol. Posteriormente se contaron y el total correspondió a la edad del árbol, este dato se obtuvo con las virutas de la primera medición.

2. Ancho del último anillo anual: Se determinó con la ayuda del microscopio-estereoscopio, medidor de incrementos, tablas “hechizas” para virutas y la lámpara de fibra óptica, con los que se identificó y señaló el último anillo anual. Con la ayuda del medidor de incrementos, se midió el ancho correspondiente al último anillo anual. Lo anterior para todas las virutas de los árboles de la primera y segunda medición.

3. Escaneo: Las virutas fueron clasificadas según el nivel de chamuscado y control; después se seleccionaron las muestras más representativas de cada tratamiento o nivel de chamuscado y se escanearon, una por una, y en conjunto, con los ejemplos más representativos de cada muestra en la misma imagen, con la finalidad de contrastar las diferencias en crecimiento del último anillo anual entre los tratamientos.

4. Proporción de madera tardía y temprana del último anillo anual: Con ayuda del medidor de incrementos, la lámpara de fibra óptica y el microscopio-estereoscopio, se identificó y se midió la madera tardía y temprana del ultimo anillo anual, para todas las virutas de los árboles de la primera y segunda medición.

5. Densidad básica. Para determinar la densidad básica se utilizaron 10 virutas, tomadas al azar de cada nivel de chamuscado y del control, de las dos mediciones de campo. Para cada una de las virutas se obtuvieron tres anillos anuales de crecimiento, el primero fue el último anillo anual (U), el segundo de la parte media (M) y el tercero a 5mm de la médula (C) de la viruta; esto se consideró con la finalidad de ver la variación de la densidad a diferentes anillos dentro de la viruta o árbol (figura 8). Para obtener este dato fue necesario: primero identificar con la ayuda de un microscopio-estereoscopio, la lámpara de fibra óptica, y el medidor de incrementos, y se cortaron con una navaja, después se colocaron en un frasco previamente etiquetado, mismo que contenía agua destilada para saturarlos. Las muestras se colocaron en frascos separados según la medición, el nivel de chamuscado y control, y la colocación de los anillos dentro de la viruta, conteniendo en total 10 anillos en cada frasco.

Las siguientes operaciones fueron realizadas para cada uno de los anillos anuales de crecimiento.

- a). Se obtuvo el volumen de cada anillo de crecimiento por medio del desplazamiento de agua, y para medirlo se utilizó la balanza analítica de precisión marca Souter.
- b). Los anillos fueron colocados en diferentes frascos y llevados a la estufa, a una temperatura constante de $103^{\circ}\text{C} \pm 2$ grados hasta obtener el peso constante (anhidro).
- c). Los anillos fueron pesados utilizando la balanza analítica de precisión Souter, obteniéndose así el peso anhidro.

Estos datos se utilizaron para determinar:

1. Densidad básica (Db)

$$Db = P_o / V_v \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

P_o = Peso anhidro

V_v = Volumen verde (saturado).

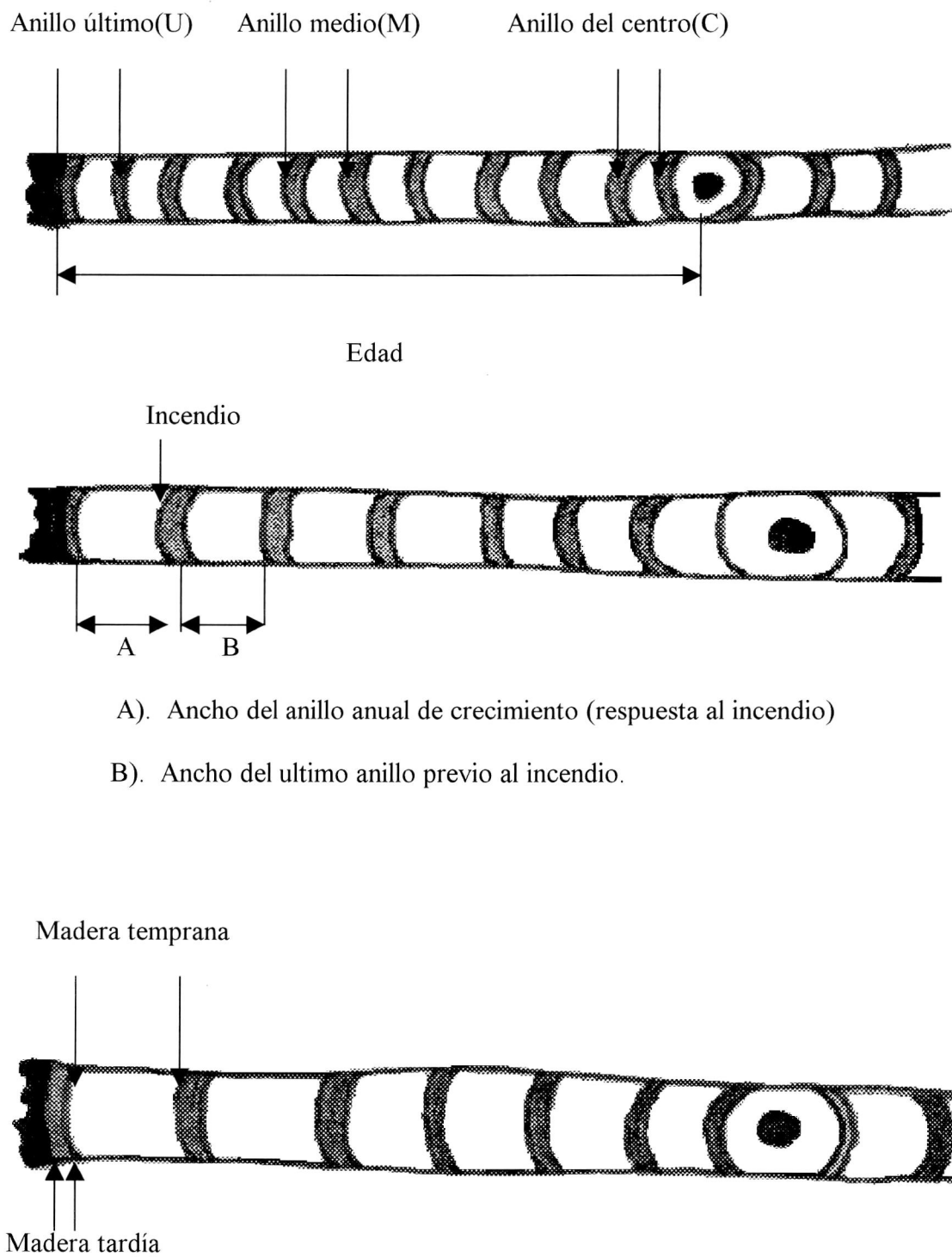


Figura 8. Variables medidas en las virutas obtenidas de los árboles muestreados.

5. 4. ARREGLO DE LOS DATOS

Los datos de las dos mediciones realizadas se ordenaron según el porcentaje de chamuscado de copa afectado, en los siguientes grupos:

- 1.- Árboles con un chamuscado de copa menor de 30%
- 2.- Árboles con un chamuscado de copa mayor de 30% y menor de 60%
- 3.- Árboles con un chamuscado de copa mayor del 60%

Esta clasificación final de los datos se realizó con la finalidad de identificar mas fácilmente las posibles diferencias en la evaluación de las variables de cada uno de los tratamientos o clases de chamuscado de copa, asimismo, para una mayor facilidad al evaluar el chamuscado de copas de los árboles después de un incendio.

Los datos de los árboles control se agruparon de manera similar y se contemplaron según la evaluación de cada una de las variables. La clasificación final de los datos se muestra en el Cuadro 1

Cuadro 1. Clasificación final de los datos por tratamientos: control (C) son árboles control sin chamuscado de copa; Baja (B), árboles con menos del 30% de chamuscado de copa; Media (M), árboles entre 30-60% de chamuscado de copa y Alta (A), árboles con más del 60% de chamuscado de copa.

Tratamiento	Nivel de chamuscado de copa	No. de árboles evaluados
Control (C)	0	50
Baja (B)	$\leq 30\%$	53
Media (M)	$30\% \leq 60\%$	21
Alta (A)	$>60\%$	29
	Total	153

5.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

En el análisis estadístico de los datos se aplicaron técnicas univariadas y multivariadas. Para probar la hipótesis de no efecto de los tratamientos (nivel de chamuscado de copa) sobre las variables medidas se hizo uso del Análisis de Varianza Univariado (ANOVA) y del Análisis de Varianza Multivariado (MANOVA), ambos con un criterio de clasificación (tratamientos). En este caso el análisis fue general para todos los tratamientos y por separado considerando contrastes entre dos tratamientos.

En la comparación de medias de tratamientos se aplicó la prueba de Tukey. Para probar la hipótesis de no interacción entre el tipo de exposición del árbol (factor 1) y nivel de chamuscado de copa (factor 2) en la variable emisión de rebrotes, se hizo uso del ANOVA en diseño completamente al azar con arreglo factorial. Finalmente, se utilizó el Análisis de Regresión Lineal en la construcción de un modelo para predecir el crecimiento del anillo anual posterior al incendio (variable dependiente) en base al nivel de chamuscado de copa (variable independiente). En todos los casos se usó el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS versión 6.12 para microcomputadoras).

Los modelos en cada caso fueron los siguientes

Modelo para el ANOVA con un criterio de clasificación

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad i=1,2,3,4; \quad j=1,2,\dots,r_i \quad \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

y_{ij} = Valor de la respuesta en la j-ésima repetición con el i-ésimo tratamiento.

μ = Media general

τ_i =Efecto del i-ésimo tratamiento

ε_{ij} = Error aleatorio.

Los ε_{ij} 's se asumen independientes con distribución común $N(0, \sigma^2)$.

Contrastes ortogonales de los tratamientos:

Contraste: C vs B treat 1 -1 0 0

Contraste: C vs M treat 1 0 -1 0

Contraste: C vs A treat 1 0 0 -1

Contraste: B vs M treat 0 1 -1 0

Contraste: B vs A treat 0 1 0 -1

Contraste: M vs A treat 0 0 -1 0

Modelo para el MANOVA con un criterio de clasificación para “p” respuestas

$$\underset{(p \times 1)}{\mathbf{y}_{ij}} = \underset{(p \times 1)}{\boldsymbol{\mu}} + \underset{(p \times 1)}{\boldsymbol{\tau}_i} + \underset{(p \times 1)}{\boldsymbol{\varepsilon}_{ij}} ; i=1,2,3,4 \quad j=1,2,\dots,r_i. \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

$\mathbf{y}_{ij}$ = Vector de respuestas en la j-ésima repetición con el i-ésimo tratamiento.

μ = Vector de medias general.

τ_j = Vector de efectos del i-ésimo tratamiento.

ε_{ij} = Vector de errores aleatorios.

Los ε_{ij} 's se asumen independientes con distribución común $N_p(0, \Sigma)$.

Los contrastes ortogonales fueron los mismos que en el modelo anterior.

Modelo para el ANOVA en arreglo factorial

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk} ; i= 1,2,3; j= 1,2,3,4; k= 1,2, \dots, r_{ij} \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

y_{ijk} = Valor de la respuesta en la k-ésima repetición con el i-ésimo nivel del factor 1 y el j-ésimo nivel del factor 2.

μ = Media general

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor 1

β_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor 2

$(\alpha\beta_{ij})$ = Efecto de la interacción entre el factor 1 y el factor 2.

ε_{ijk} = Error aleatorio.

Los ε_{ijk} 's se asumen independientes con distribución común $N(0, \sigma^2)$

Modelo de regresión lineal

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \beta_4 x_i^4 + \varepsilon_i \quad \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

y_i = Variable respuesta (dependiente)

x_i = Variable independiente

β_0 = Ordenada al origen

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ y β_4 = Coeficientes de regresión

ε_i = Error aleatorio

6. RESULTADOS

6.1. COMPARACIÓN DE VARIABLES PREVIAS A LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS

Se realizó la comparación de la variables: diámetro normal, edad, altura total, altura de copa, grosor de corteza y ancho del último anillo anual anterior al incendio. Lo anterior con la finalidad de identificar la posible variación donde se aplicarían cada uno de los tratamientos, así mismo identificar fuentes de variación del experimento no debidas a los tratamientos que pudiera influir en los resultados; encontrando lo siguiente:

Las variables diámetro normal y grosor de corteza no exhibieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, control(C), chamuscado bajo (B), chamuscado medio (M) y chamuscado alto(A) con ($p=0.0499$ y $p=0.2434$) respectivamente. Las medias entre todos los tratamientos tuvieron valores extremos de 15.18 a 18.61 cm y 0.384 a 0.418 cm, respectivamente.

Para el ancho del anillo anual anterior al incendio, existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p=0.0268$), pero al realizar la comparación de medias se encontró que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($\alpha=0.05$). El mayor valor correspondió a los tratamientos Media y Baja, con 2.52 mm, y el menor al tratamiento Control, con 2.28 mm.

La edad fue mayor en el control ($p=0.0018$), aunque sin diferencias con el tratamiento Baja, que a su vez no exhibió diferencias estadísticamente significativas con el resto de los tratamientos. El intervalo de edades de las muestras fue de 19 a 26 años.

La altura de los árboles fue mayor en el tratamiento Baja ($p=0.0043$), sin diferencias estadísticas con el Control, que a su vez no tuvo diferencias con el resto de los tratamientos. El intervalo de medias de alturas fue de 5.05 a 6.71 m.

La única diferencia en altura de copa se encontró entre los tratamientos Baja y Media ($p=0.0045$).

En el siguiente cuadro se resumen los resultados de las comparaciones de las variables.

Cuadro 2. Cuadro de comparación de variables entre tratamientos.

Tratamiento	PROMEDIO DE LAS VARIABLES CON EL GRUPO DE TUKEY A QUE PERTENECE.					
	Diámetro normal (cm)	Edad (años)	Altura total (m)	Altura de copa (m)	Grosor de corteza (cm)	Ancho del anillo anual anterior al incendio (mm)
A	15.18 _A	19.64 _B	5.22 _B	2.17 _{AB}	0.384 _A	2.472 _A
M	16.07 _A	20.76 _B	5.05 _B	1.91 _B	0.381 _A	2.525 _A
B	18.61 _A	24.11 _{AB}	6.71 _A	2.64 _A	0.428 _A	2.524 _A
C	15.90 _A	26.44 _A	5.61 _{AB}	2.09 _{AB}	0.418 _A	2.280 _A

Nota: En cada columna, una misma letra significa que los tratamientos no mostraron diferencias estadísticamente significativas.

6.2. ANÁLISIS MULTIVARIADO

Los métodos multivariados, se utilizan para relacionar un grupo variables de respuesta o dependientes que están relacionadas con otro grupo de variables independientes. Se utilizan también para estudiar el experimento en más de dos dimensiones y hacer una conclusión más real del fenómeno que se estudia. Por lo anterior y para conocer más a fondo el efecto del fuego a diferentes intensidades en los árboles y detectar posibles interacciones entre las variables medidas, se realizaron las siguientes pruebas de Análisis de Varianza Multivariado (MANOVA). Cabe señalar que se incluyeron en un solo análisis multivariado.

6.2.1. Análisis de las variables ancho del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana, recuperación de la copa y número de rebrotes

Los análisis de las variables ancho del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana y recuperación de la copa muestran, una diferencia estadística altamente significativa ($p=0.0001$) del efecto de los tratamientos. No así para la variable número de rebrotes, que no tiene significancia estadística ($p=0.1980$) entre tratamientos. En la figura 9, se puede apreciar la diferencia en crecimiento del anillo anual antes y después del incendio, destacando que después del incendio, el nivel de chamuscado mínimo arrojó el mayor ancho de anillo (3.09 mm),

seguido por el control (2.33 mm) y el chamuscado medio (2.41 mm), estos dos últimos sin diferencias entre si. El chamuscado alto tuvo el menor ancho del anillo (2.03 mm).

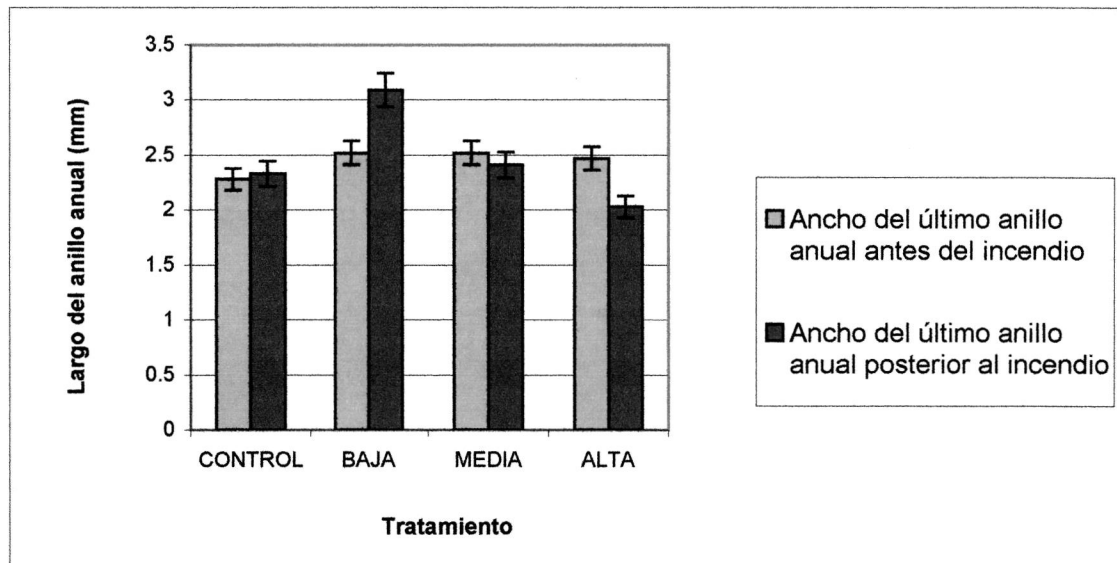


Figura 9. Ancho del anillo anual antes y después del incendio para *Pinus hartwegii*. Las barras de error representan el error estándar.

En el análisis de contrastes de los tratamientos de la variable ancho del anillo anual posterior al incendio, se obtuvo que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos Media y Alta ($p=0.5050$); no así para todos los demás ($p=0.0092$).

Los análisis de los contrastes para las variables proporción de madera tardía y proporción de madera temprana mostraron que los tratamientos Control con Media y Alta; y Media con Alta, no tienen diferencias estadísticamente significativas ($p=0.1075$). No así para todos los demás ($p=0.0071$).

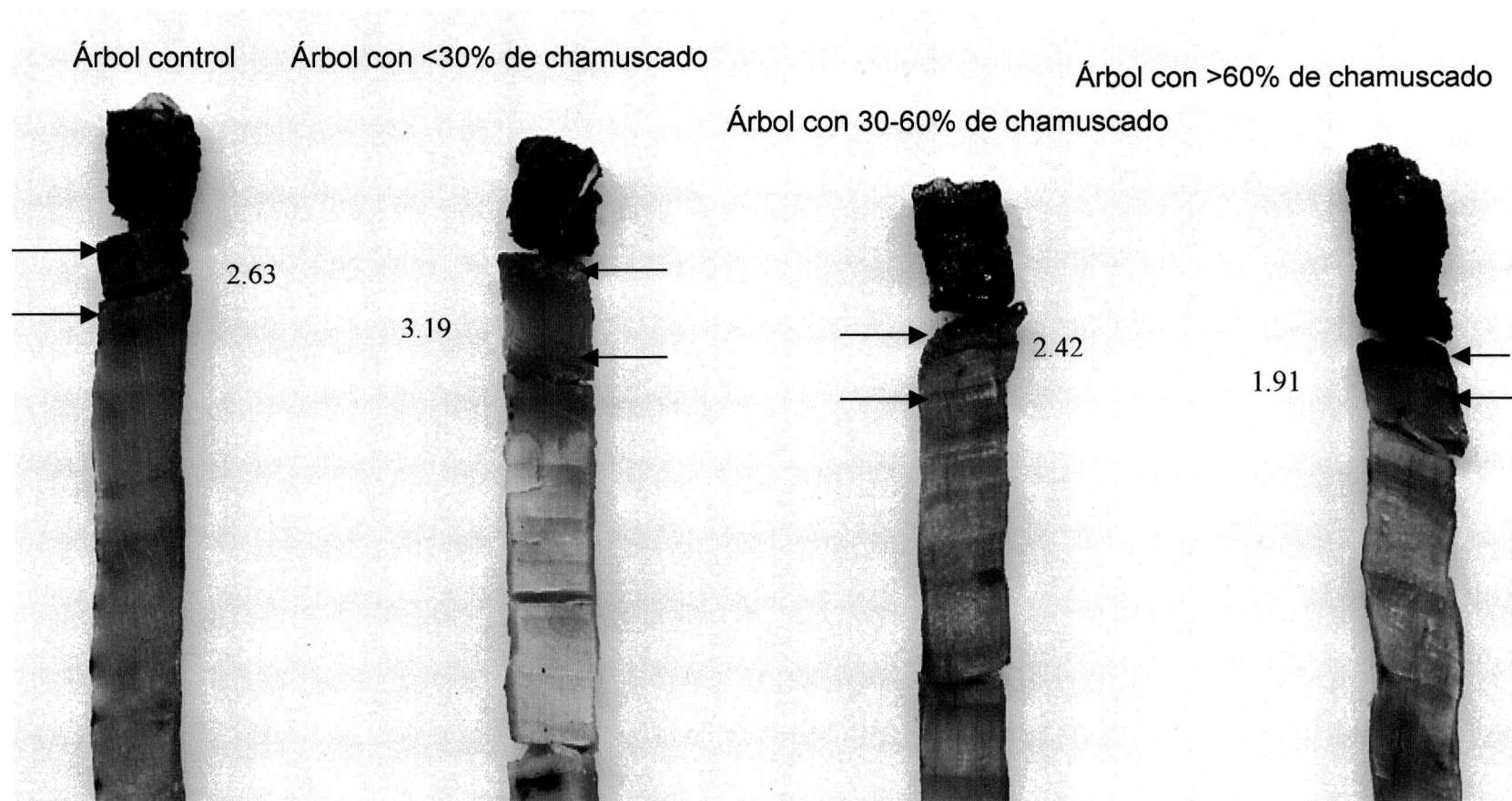


Figura 10. Comparación del ancho de los anillos anuales (mm), obtenido un año después del incendio por tratamiento. Control (DN=16 cm, edad=25 años); <30% de chamuscado (DN=12.5 cm, edad=25 años); 30-60% de chamuscado (DN=23 cm, edad=25 años); >60% de chamuscado (DN=19.5 cm y edad=26 años). DN= Diámetro normal.

El análisis de los contrastes para la variable número de rebrotes muestran que los tratamientos Baja y Media son diferentes entre sí ($p=0.0369$) y todos los demás tratamientos no tienen diferencias significativas entre sí ($p=0.1938$).

Para la variable recuperación de la copa los contrastes de los tratamientos muestran que todos los tratamientos tienen diferencia estadísticamente altamente significativa ($p=0.0001$).

En el MANOVA que se exhibe en el cuadro 3; muestra en los cuatro criterios considerados: Lambda de Wilks, Traza de Pillai, Traza de Hotelling Lawley y Raíz más grande de Roy, que existe una diferencia estadística altamente significativa ($p=0.0001$) del efecto de los tratamientos, en el comportamiento conjunto de las variables ancho del anillo anual posterior al incendio, la proporción de madera tardía y temprana del anillo anual posterior al incendio, la recuperación de la copa y en número de rebrotes emitido por los árboles después del incendio.

Cuadro 3. MANOVA general para probar el efecto de los tratamientos en las variables ancho del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana, recuperación de la copa y número de rebrotes.

Estadístico de prueba	Valor	F	Grados de libertad del numerador	Grados de libertad del denominador	Pr>F
Lambda de Wilks	0.060799	58.9570	12	375.9882	0.0001
Traza de Pillai	1.262724	26.1663	12	432	0.0001
Traza de Hotelling Lawley	10.132600	118.7766	12	422	0.0001
Raíz mas grande de Roy	9.578417	344.8230	4	144	0.0001

El análisis de todos los contrastes entre tratamientos que se muestran en el Anexo 2, para todas las variables en su conjunto, exhibieron en los cuatro criterios considerados que existe una diferencia estadística altamente significativa del efecto de los tratamientos ($p=0.0001$), en el comportamiento conjunto de las variables: ancho del anillo anual posterior al incendio, la proporción de madera tardía y temprana del anillo formado después del incendio, la recuperación de la copa y el número de rebrotes emitido por los árboles después del incendio. Ver el cuadro 4.

Cuadro 4. Valores medios de las variables por tratamiento: ancho del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana, recuperación de la copa y número de rebrotes.

Tratamiento	Ancho del anillo anual posterior al incendio	Proporción de madera tardía	Proporción de madera temprana	Recuperación de la copa	Número de rebrotes
C	2.33	33.48	66.51	0	0
B	3.09	21.21	76.79	11.79	1.34
M	2.41	28.89	71.10	39.28	1.09
A	2.03	32.56	66.06	69.60	0.68

El análisis de varianza de la variable recuperación de la copa, muestra que existe diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos ($p=0.0001$) respecto a esta variable; así como el análisis de los contrastes.

El análisis de varianza y de contrastes de la variable número de rebrotes, muestra que no existe diferencia estadística significativa entre tratamientos ($p=0.1980$).

La respuesta de estas variables se muestra en la figura 11.

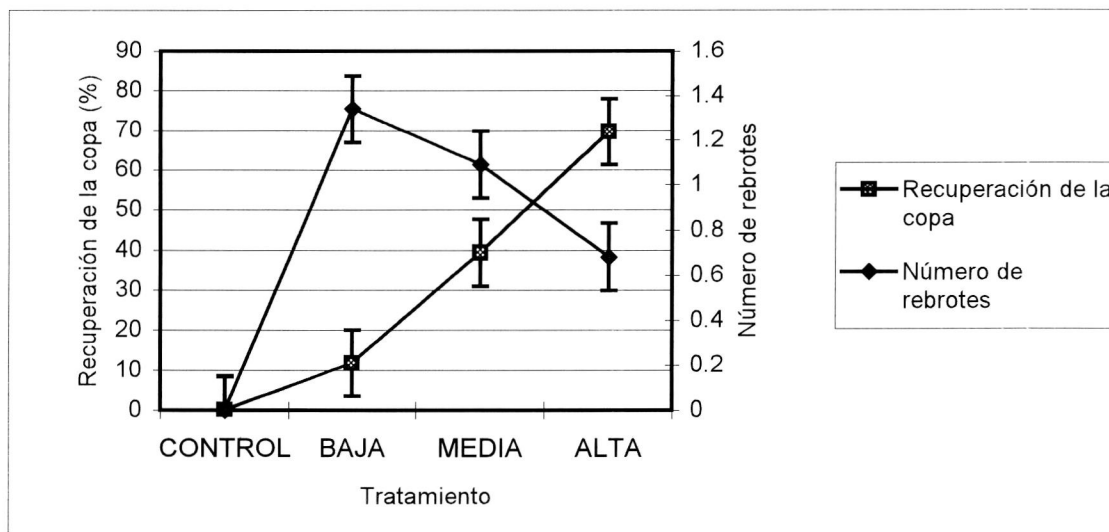


Figura 11. Gráfica de recuperación de la copa y número de rebrotes promedio por árbol, según el tratamiento o chamuscado de copa. Las barras de error representan el error estándar.

Como puede apreciarse en esta última, el tratamiento de baja intensidad fue el que obtuvo un mayor número de rebrotes en relación a todos los demás; esto quiere decir que el fuego estimula una mayor número de rebrotes en los árboles cuando la quema es de baja intensidad o un chamuscado de copa menor o igual de 30%. En relación a la recuperación de la copa, los árboles que sufrieron un mayor daño son los que obtuvieron una mayor recuperación, esto quiere decir que existe una respuesta inversamente proporcional al daño sufrido; siempre y cuando el árbol no muera, si bien árboles con un chamuscado de copa del 100% se recuperaron exitosamente.

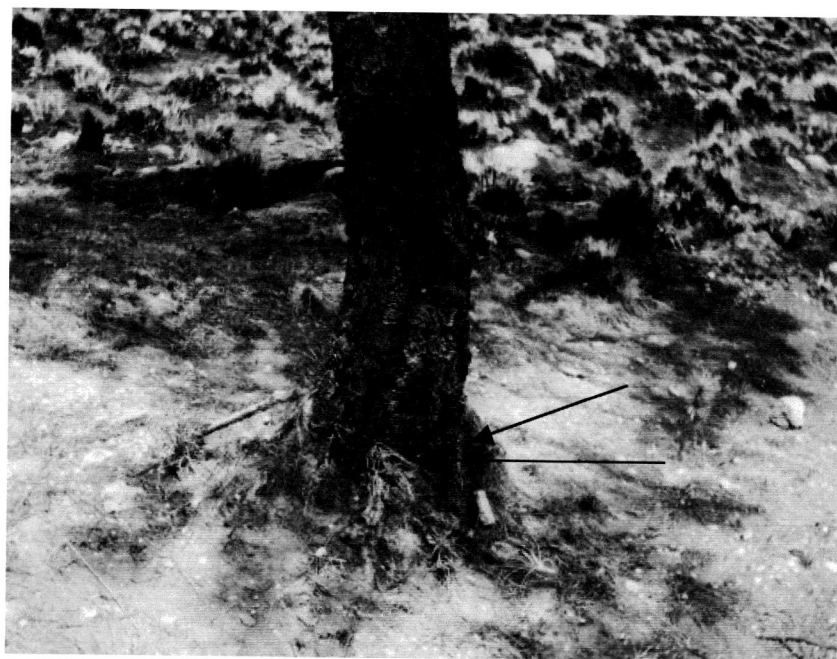


Figura 12 . Emisión de rebrotes en *Pinus hartwegii*, un año después del incendio.

6.3. ANÁLISIS UNIVARIADO

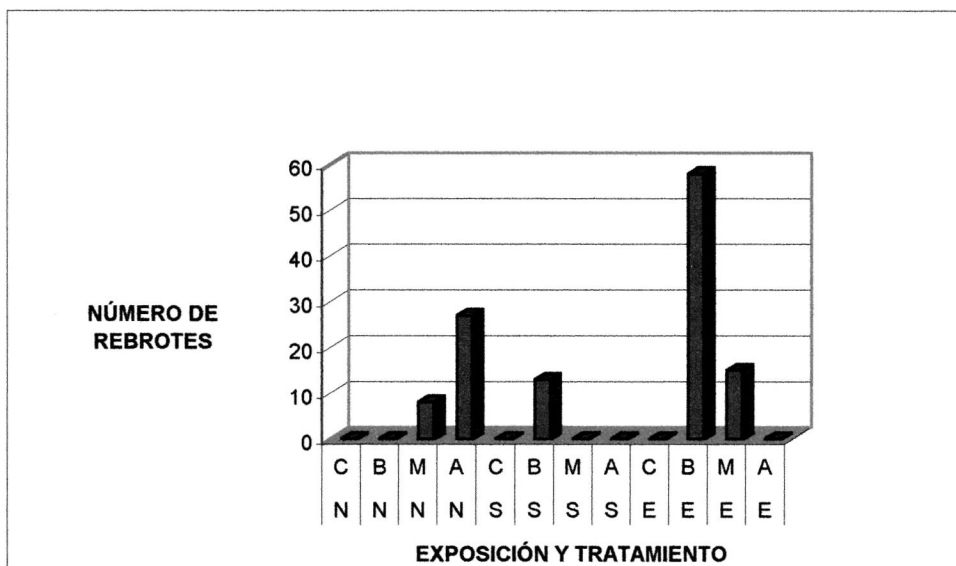
Este análisis se realizó para resaltar las diferencias de algunas variables de interés y descubrir su interacción.

6.3.1 Comparación de las exposiciones en relación al número de rebrotes emitidos por los árboles después del incendio

Se determinó el número de rebrotes emitidos por los árboles separándolos en base al chamuscado de copa y exposición obteniéndose lo siguiente. Para tal efecto de utilizó el modelo factorial previamente descrito en la metodología.

El análisis de varianza para la variable número de rebrotes un año después del incendio, por exposición y porcentaje de chamuscado de copa, muestra que existe una diferencia estadística altamente significativa ($p=0.0001$) por la interacción entre los factores exposición y chamuscado de copa.

Se realizó la comparación de medias obteniéndose que la exposición Este, es estadísticamente diferente a las exposiciones Norte y Sur. Además existe una respuesta favorable por parte del arbolado a esta variable cuando se realiza una quema prescrita o se presenta un incendio ya que estimula su emisión; no se encontró una diferencia estadística significativa ($p=0.9098$) entre las exposiciones sur y este. El número de rebrotes por exposición se muestra en la figura 13.



Nota: C=Control, B=Baja, M=Media, A=Alta, N=Norte, S=Sur y E=Este.

Figura 13. Número de rebrotes emitidos por los árboles después del incendio, según la exposición y nivel de chamuscado.

Como puede observarse en la grafica anterior en la exposición este los árboles emiten una mayor cantidad de rebrotes con una intensidad de chamuscado de copa ligera. Mientras que la exposición norte fue la que obtuvo una mayor respuesta de los árboles respecto a esta variable en relación a todas las demás.

6.4. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LOS ANILLOS ANUALES DE CRECIMIENTO

6.4.1. Análisis de densidad básica

Los resultados obtenidos de la densidad básica en *Pinus hartwegii*, en el último anillo anual(U), anillo medio(M) y anillo del centro (C) de las virutas analizadas, para las diferentes intensidades de chamuscado de copa se muestran en cuadro 5.

Cuadro 5. Densidad básica (g/cm^3) de los anillos anuales: último(U), medio(M) y central(C); según las intensidades de chamuscado de copa o tratamientos.

Tratamiento	Ultimo anillo anual (Antes)	Ultimo anillo anual (Después)
C	0.47	0.48
B	0.46	0.47
M	0.45	0.46
A	0.45	0.46
	Anillo anual medio (Antes)	Anillo anual medio (Después)
C	0.45	0.46
B	0.44	0.46
M	0.44	0.45
A	0.44	0.45
	Anillo anual del centro (Antes)	Anillo anual del centro (Después)
C	0.42	0.43
B	0.44	0.44
M	0.40	0.41
A	0.43	0.44

Como puede observarse en el cuadro anterior existe un ligero aumento en la densidad en los anillos anuales de crecimiento analizados(ultimo, medio y centro), con diferencia general entre las dos mediciones de 0.01 g/cm^3 para todos los casos. Estas mediciones se realizaron para conocer la variabilidad de la densidad básica de las muestras en relación a la posición de la viruta.

6.4.2. Análisis de la madera tardía

El análisis de varianza de la variable proporción de madera tardía del anillo anual antes del incendio no mostró diferencias estadísticas significativas ($p=0.61569$) entre los tratamientos.

Para la variable proporción de madera tardía del anillo anual después del incendio, el análisis de varianza resulto ser altamente significativo ($p=0.0001$), al igual que la comparación de medias entre tratamientos. El tratamiento de Baja intensidad en el chamuscado de copa produce un efecto diferente a todos los demás, como se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Cuadro de la proporción de madera tardía antes y después del incendio para cada tratamiento.

Tratamiento	Proporción de madera tardía antes del incendio(%)	Proporción de madera tardía después del incendio(%)
C	22.37	33.48
B	24.11	23.20
M	21.18	28.89
A	23.86	33.93
Promedio general	22.88	29.87

De acuerdo al cuadro 6, existe un aumento en la proporción de madera tardía en el último anillo anual de crecimiento en todos los tratamientos, excepto en el tratamiento de intensidad baja(B) que fue menor; esta diferencia se debe a que fue la intensidad en la cual se presentó un mayor crecimiento el anillo anual después del incendio y por lo tanto existe una mayor producción de madera temprana.

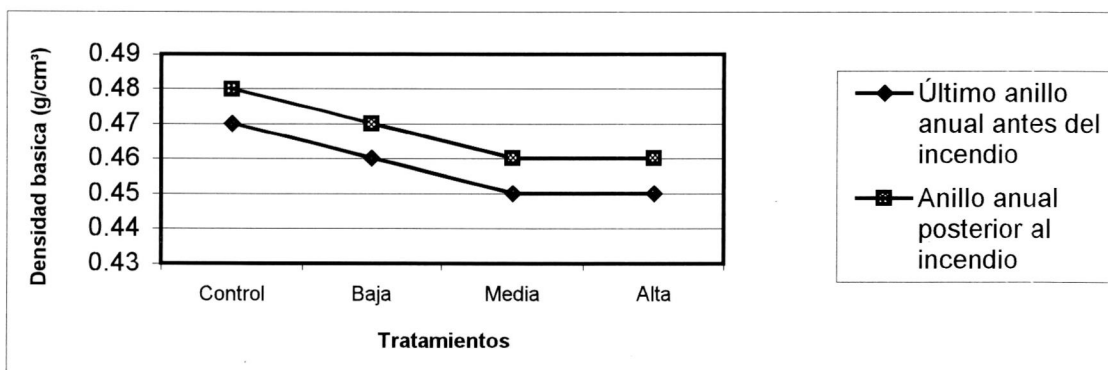


Figura 14. Gráfica de densidad básica correspondiente al ultimo anillo anual antes y después del incendio

Como puede apreciarse en la figura 14, la densidad básica de los anillos anuales de crecimiento posteriores al incendio aumentó, en todos los tratamientos ($p=0.0001$). Siendo el tratamiento del control, la que obtuvo mayor densidad, disminuyendo someramente en la misma proporción para los tratamientos Baja y Media y aumentando ligeramente en el tratamiento Alta. La diferencia que existe entre ambas mediciones en debida a que existe un aumento en la proporción de madera tardía en el anillo anual posterior al incendio.

6.5. MODELO DE CRECIMIENTO DEL ANILLO ANUAL EN RELACION AL PORCENTAJE DE CHAMUSCADO DE COPA.

Se realizó la grafica de dispersión de los datos, para saber la tendencia y obtener un mejor ajuste del modelo como se muestra en la figura 15.

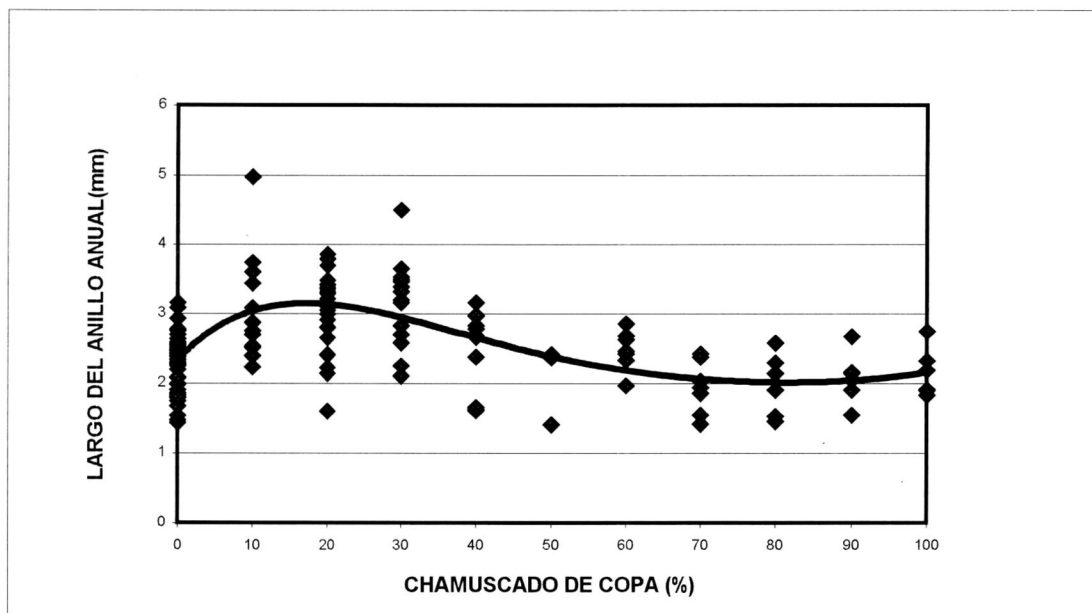


Figura 15. Gráfica de dispersión de los datos del ancho del anillo anual después del incendio en relación la porcentaje de chamuscado de copa.

Con base en la distribución polinomial de los datos que se muestra en la grafica anterior, fue necesario incluir variables cuadráticas, cúbicas y de cuarta potencia para obtener un mejor ajuste de los datos al modelo.

Se realizó la regresión general de los datos con la variable dependiente ancho del anillo anual posterior al incendio; los resultados obtenidos exhibieron que el modelo es altamente significativo ($p=0.0001$), lo que indica que existe una relación entre ambas variables, sin embargo, la $R^2=0.387189$ resulta ser relativamente pequeña, e indica que el modelo es explicado en un 38%, con un coeficiente de variación de 19.81, que es alto, y por lo tanto la precisión del modelo es baja.

Debido a los resultados anteriores, fue necesario obtener los promedios de los datos en intervalos de 10% para la variable chamuscado de copa. Esto con la finalidad de lograr un mejor ajuste del modelo y obtener una buena predicción del crecimiento del anillo anual, obteniéndose la curva que se muestra en la figura 16.

Como se puede observar en la gráfica los promedios de esta variable, se tiene una distribución polinomial igual a la original por lo anterior fue necesario incluir en el modelo de regresión variables cuadráticas, cúbicas y de potencia cuarta, a efecto de obtener un mejor ajuste del modelo.

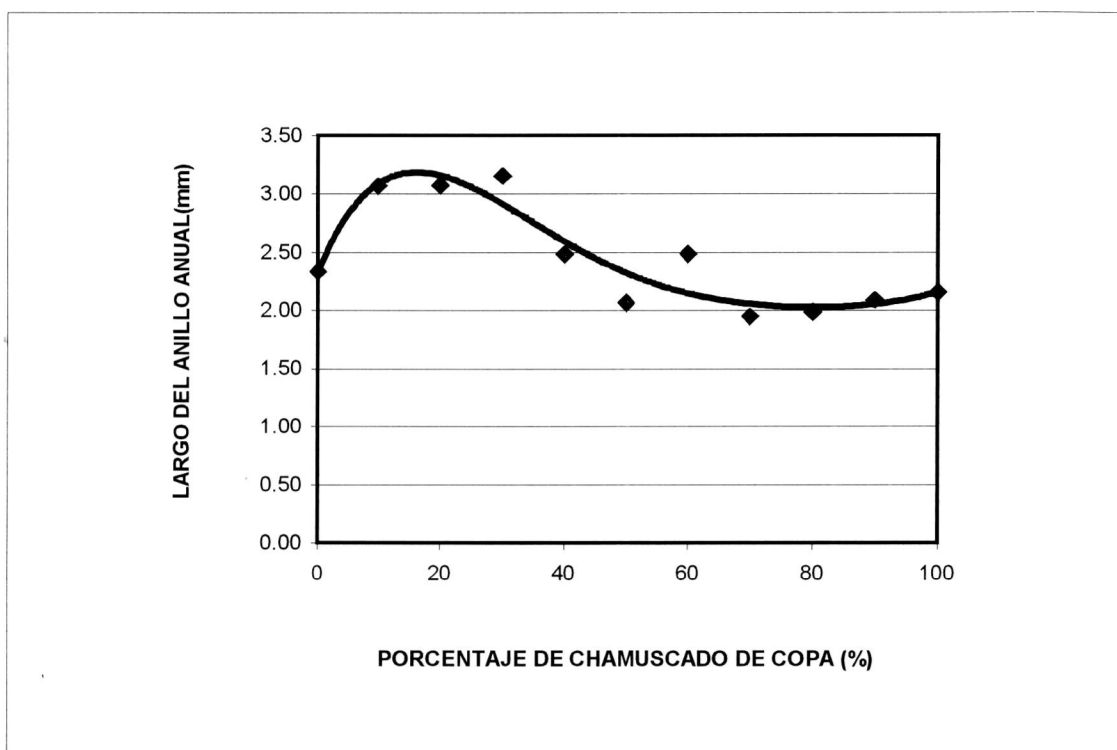


Figura 16. Gráfica de crecimiento del anillo anual posterior al incendio en relación al porcentaje de chamuscado de copa.

Se realizó el análisis de regresión de los datos promedio utilizando cuatro variables (Chamcop , Chamcop^2 , Chamcop^3 y Chamcop^4) en el modelo, con la variable dependiente ancho del anillo posterior al incendio. En el cuadro 8 se muestra el análisis de varianza de la regresión. Los resultados fueron altamente significativos, ($p= 0.0001$), lo que indica que existe una buena relación entre las variables. La $R^2=0.8632$, fue la más alta en relación a los modelos probados. Esto quiere decir que con este modelo se puede explicar un 86% del comportamiento del crecimiento del anillo anual posterior al incendio con base en el chamuscado de copa (en intervalos de 10%), con un coeficiente de variación de 9.05.

Cuadro 7. Análisis de varianza de la regresión del modelo con la variable dependiente ancho del anillo anual posterior al incendio.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadros medios	F calculada	Pr>F
Modelo	4	1.841106	0.460276	9.47	0.0092
Error	6	0.291566	0.048594		
Total	10	2.132672			

R ²	Coefficiente de variación	Raíz cuadrada de los cuadrados medios de error	Promedio del ancho del anillo anual posterior al incendio
0.863286	9.051345	0.220441	2.435454

Cuadro 8. Suma de cuadrados de la variable independiente porcentaje de chamuscado de copa.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados Tipo III	Cuadros medios	F calculada	Pr>F
Chamcop	1	0.500443	0.500443	10.30	0.0184
Chamcop²	1	0.419659	0.419659	8.64	0.0260
Chamcop³	1	0.275795	0.275795	5.68	0.0546
Chamcop⁴	1	0.181762	0.181762	3.74	0.1013

Nota: Chamcop= chamuscado de copa

Cuadro 9. Parámetros del modelo de regresión.

Parámetro	Estimación del parámetro	T calculada	Pr>T	Desviación Estándar del estimador (Error)
Ordenada al origen(β_0)	2.349930070	11.14	0.0001	0.21098946
Chamcop(β_1)	0.104277972	3.21	0.0184	0.03249436
Chamcop²(β_2)	-0.004183188	-2.94	0.0260	0.00142348
Chamcop³(β_3)	0.000052185	2.38	0.0546	0.00002191
Chamcop⁴(β_4)	-0.000000210	-1.93	0.1013	0.00000011

El modelo resultante es:

$$Y = 2.35 + 0.104277(X) - 0.004183(X^2) + 0.0000521(X^3) - 0.00000021(X^4). \quad \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

Y= Crecimiento (mm) del anillo anual después del incendio.

X= Chamuscado de copa promedio, en intervalos de 10%.

7. DISCUSIÓN

El estudio de los efectos positivos que causan los incendios es muy importante, ya que se sientan parte de las bases de manejo del fuego en esta población vegetal, además de generar información necesaria para su aplicación y conocer el efecto.

El efecto del chamuscado de copa en el crecimiento en diámetro y altura en muchas pináceas, es tal que cuando se chamusca menos de un tercio de su copa se estimula el crecimiento en diámetro y a veces en altura; y si se chamusca una proporción de copa mayor del 60% el crecimiento en diámetro es reducido o cesa, en comparación con los árboles control; algunos ejemplos de los trabajos más relevantes son: *Pinus elliottii* (Johansen y wade, 1987; Johansen 1987), *Pinus taeda* (Weise et al.,1987), *Pinus palustris* (Grelen,1983). En la parte de revisión de literatura se encontraron que 12 especies entre pináceas y latifoliadas responden acorde con la tendencia mencionada, si bien aparentemente la presente es la primera investigación de este tipo en México.

En este trabajo se encontró que un chamuscado de copa menor del 30% estimula el crecimiento en un 32 % más anillo anual posterior al incendio en *Pinus hartwegii* , respecto a los árboles control. Este resultado tuvo una tendencia similar a los encontrados por Johansen y Wade (1987) en *Pinus elliottii*; y Villarubia y Chambers (Citados por Waldrop y Van Lear, 1984) para *Pinus taeda*. Ferguson (1955), encontró para esta última especie, una reducción en el crecimiento el árboles que se chamuscan en una proporción mayor del 25%; para *Pinus ponderosa* var *ponderosa* se encontraron aumentos en el crecimiento en diámetro y altura con incendios poco intensos(Cooper,

1960; Morris y Mowat, 1958; Weaver, 1968). Dickman y Kozlowski, (1968 citados en Kozlowski, 1997), mencionan que esta respuesta obedece a que las especies estudiadas están adaptadas a regímenes de fuego frecuentes de intensidad baja, y el fuego elimina la parte baja de la copa del árbol que es menos eficiente fotosintéticamente, ya que está formada en su mayoría por hojas maduras y sobremaduras. Huber y Rush, (1961, en Daniel, 1982), mencionan que la eficiencia fotosintética difiere entre las hojas de distinta edad debido, principalmente, a los efectos de las diferentes tasas de respiración. La cantidad de carbohidratos utilizados por las hojas en la respiración es por lo regular de 5 a 10% de la producción fotosintética, pero las hojas muy jóvenes y viejas respiran más que esa cantidad, y las hojas no muy jóvenes pero tampoco viejas respiran menos.

Con un chamuscado de entre el 30 a 60%, el crecimiento del anillo anual posterior al incendio fue similar al control, y con un chamuscado de copa mayor del 60% se reduce en un 13% el crecimiento del anillo anual en mención, respecto a los árboles control. Estos resultados concuerdan con los encontrados por: Johansen y Wade (1987), Johansen (1987), Villarubia y Chambers (Citados por Waldrop y Van Lear, 1984) en *Pinus elliottii* y *Pinus taeda*; Waldrop y Van Lear (1984) en *Pinus taeda*; Morris y Mowat, (1958) en *Pinus ponderosa* var *ponderosa*; Garren (1943) en *Pinus echinata*; Kellas *et al.*, (1984), en *Eucalyptus obliqua*. Lo anterior se debe a que se elimina una proporción de hojas nuevas de la copa que son eficientes fotosintéticamente y hojas maduras que son menos eficientes. Para el primer caso la pérdida de hojas nuevas y viejas se compensa, y por lo tanto el crecimiento en diámetro es similar a los controles, cuando se chamusca 30 a 60% de la copa. Para el último caso (más de 60% de chamuscado) existe una mayor pérdida de hojas nuevas, y por lo tanto existe menor

fotosíntesis, que se manifiesta en la reducción en crecimiento en diámetro. Daniel, *et al.* (1982), mencionan que las coníferas, por lo general, tienen varias clases de edad de las acículas, el follaje de un año de edad, completamente extendido, es el más eficiente entre todas las clases, y a medida que aumenta la edad foliar, la fotosíntesis neta va disminuyendo. Esta relación se ha demostrado para muchas especies de los géneros *Pinus*, *Picea*, *Abies* y *Quercus*. Otra variable que se debe considerar es la posición de la hoja en la copa, ya que influyen en la producción de fotosíntesis neta de los árboles, pues la copa de una conífera forma una serie de capas superpuestas de follaje de distintas edades que crecen en ambientes muy diferentes. El cono interno consta de acículas relativamente viejas y menos eficientes; el cono externo está compuesto por follaje nuevo y eficiente una vez que las acículas están alargadas al máximo. Asimismo, los verticilos inferiores, que reciben relativamente poca luz, contribuyen poco a la fotosíntesis neta, lo que deja ver la conveniencia de podar las ramas inferiores.

En cuanto a la recuperación de la copa, se encontró que en los árboles con una proporción de chamuscado de copa elevado, se tiene una mayor recuperación, 70% del total chamuscado. Para el tratamiento de intensidad moderada se tuvo una recuperación de 40%, y en las intensidades bajas una recuperación del 11%. Los resultados coinciden con los encontrados por (De Ronde, 1982 y Wade, 1983) en *Pinus elliottii*; Rian y Reinhart, (1988) en *Larix occidentalis*. Esta respuesta de los árboles, es debida a que el área foliar es la que provee de carbohidratos al árbol a través de la fotosíntesis y por lo tanto el árbol como todo ser vivo tiene como principal prioridad la de sobrevivir, para lo cual necesita generar hojas nuevas, a efecto de producir fotosintatos y después realizar todas las demás funciones, como crecimiento y reproducción.

Respecto a la mortandad, se encontró que esta especie tolera chamuscados de copa del 100% siempre y cuando las yemas terminales no se dañen totalmente existiendo en algunos casos un 100% de recuperación principalmente en los individuos más jóvenes, resultados que coinciden con los de: Harrington (1993), en *Pinus ponderosa*; Wagener (1961), Herman (1954) y Ryan (1982); Wagener (1961) y Herman (1954), en *Pinus ponderosa* var. *scopulorum*; Henderson (1967); Lampi (1960); Methven (1971) y Saveland y Burting (1988), en *Pinus ponderosa* var. *ponderosa*; McCulley (1950) en *Pinus ellittii*; y los de Lloyd (1988) en *Pinus taeda*.

En cuanto a la emisión de rebrotes, se encontró que el fuego de intensidad baja, equivalente a un chamuscado de copa menor del 30% con exposiciones Este, fue el que produjo una mayor emisión. Mientras que árboles con un chamuscado de copa intenso (>60%) y exposiciones Norte existe una mayor emisión de rebrotes; los árboles donde se manifestó esta respuesta por lo general son jóvenes con un promedio de edad y diámetro normal de 24 años y 18 cm respectivamente. Coincidiendo con los resultados encontrados por Wade *et al.* (1989), en *Pinus strobus*; y Buchholtz y Good (1982), en *Pinus rigida*. Rodríguez, (1996) encontró para renovales y árboles jóvenes, afectados por incendios superficiales poco intensos en la especie en cuestión; que los árboles con diámetro menores a la altura del pecho, el 81.8% de estos presentaron un promedio de 3.27 rebrotes basales por árbol, aunque el tronco principal estuviera vivo; para el caso de árboles más pequeños el 100% de estos presentaron 7.8 rebrotes rebrotes/árbol. Concluye que el fuego es el principal factor que estimula el rebrote y que los individuos más jóvenes tienden a presentar rebrotes más numerosos y vigorosos. Lo anterior coincide con los resultados encontrados en este trabajo, en cuanto a características de

edad y diámetro del árbolado, y tipo de incendio, sin embargo, la cantidad de rebrotes encontrada por individuo fue menor.

En relación a las características tecnológicas de los anillos anuales de crecimiento, se encontró un ligero aumento en la densidad básica del anillo anual posterior del incendio. Esta diferencia se atribuye a que existe una mayor proporción de madera tardía, de 22% a 29% antes y después del incendio, en promedio para todos los tratamientos y respectivamente; por lo anterior se considera que esta variable es afectada por el fuego. El chamuscado de copa ligero, produce una proporción de madera tardía menor en relación al resto de tratamientos en el anillo de crecimiento posterior al incendio, aunque todos los demás exhibieron una producción mayor respecto a la del año anterior. Esto debido principalmente a la edad de las hojas; ya que las intensidades de chamuscado de copa de moderado a fuerte tienen una mayor recuperación de follaje y por lo tanto una mayor cantidad de las hojas nuevas. Por lo anterior, se tiene una mayor capacidad fotosintética en la copa, que en comparación con factores climáticos favorables durante este periodo sin renovación de follaje, tales como presencia de lluvias invernales y temperaturas adecuadas. De acuerdo con Klepac (1983), la anchura de los anillos anuales varía desde unos milímetros hasta algunos centímetros, dependiendo de muchos factores, entre los que se encuentran: la disponibilidad de luz, la temperatura, la humedad, calidad del suelo, la duración de la estación de crecimiento, etc. Morey (1977), menciona que la madera temprana es el producto de las condiciones más favorables de crecimiento, como disponibilidad de agua suficiente y una alta temperatura, caso contrario para la madera tardía, que es resultado de las condiciones menos favorables.

Las cenizas provenientes de la quema de los combustibles que se encontraban en el sitio, es una variable que indudablemente tiene efecto en el crecimiento en diámetro, específicamente en el crecimiento del anillo anual posterior al incendio, ya que fertiliza con nutrientes al suelo. Además está correlacionado con el nivel de chamuscado de copa, porque éste último indica la intensidad que el fuego tuvo en el lugar. Acorde con Binkley (1993), el fuego tiene una gran variedad de efectos sobre los nutrientes. El nitrógeno y el azufre se volatilizan en forma gaseosa cuando las temperaturas exceden los 300° C y otros nutrientes como el calcio no se volatilizan, a menos que las temperaturas alcancen los 500° C. De esta manera, los incendios intensos eliminan cantidades importantes de nutrientes. Este autor, también menciona que la ceniza que se produce en los incendios provoca un pH más alto, el cual puede favorecer un mayor grado de descomposición, debido a la liberación de cationes alcalinos. Estos cambios favorecen una mayor actividad microbiana. Daniel *et al.* (1982), menciona que el fuego puede ocasionar considerables pérdidas de nutrientes en el sitio; la magnitud de la pérdida depende del tipo de fuego; de esta manera las quemas prescritas de intensidad baja producen pérdidas de nitrógeno del orden de 10 a 15% (Greir, 1975 citado por Daniel *et al.* 1982) y enriquece con cenizas. Klemmedson y Col (1962, citado por Daniel *et al.* 1982). Estos últimos autores mencionan que las quemas prescritas tienden a elevar el pH del suelo debido a la deposición de cenizas alcalinas, (Daniel *et al.* 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, forma muy expuesta a la lixiviación. Un mayor pH promueve el desarrollo de microorganismos pedológicos, que sobrepasan rápidamente a los encontrados antes de la quema. Cromer y Col (1970; en Daniel *et al.* 1982), reportan para *Pinus radiata* una

existencia volumétrica comercial adicional de 50% en plantaciones establecidas sobre lechos de cenizas, con relación a los testigos. Hall (1985), reporta que en plantaciones con la misma especie mostraron una mejor sobrevivencia inicial cuando crecían sobre áreas previamente quemadas, que cuando lo hacían sobre desechos orgánicos. Rendus y Col (1973, en Daniel *et al.*, 1982), mencionan que algunas plántulas de eucalipto sembradas en un lecho de cenizas tomado de varias profundidades tenían, después de tres años de crecimiento, casi el doble de la altura de las plántulas sembradas en suelo no quemado. Rodríguez (1996), menciona que, siempre y cuando no sea excesiva en intensidad ni frecuencia la aplicación del fuego, los efectos favorables no sólo en crecimiento, se presentan más en las especies mejor adaptadas a los incendios, como el caso de muchos pinos.

Por lo anterior, un chamuscado de copa poco intenso indica que el lugar sufrió un incendio superficial ligero y por lo tanto se debe de esperar que exista en las cenizas los siguientes elementos: Ca, Mg, P y K, además una pérdida pequeña de Nitrógeno y Azufre. Por el contrario, un chamuscado de copa mayor del 60% indica que se trata de un incendio que tuvo intensidad moderada a fuerte y por lo tanto habría una mayor volatilización de N (el principal nutriente que limita el crecimiento en masas forestales) y S.

Los resultados de la presente investigación, permiten la elaboración de un modelo relativo a cómo *Pinus hartwegii* distribuye carbohidratos para recuperar follaje y emitir rebrotes en la base de su tronco, como respuesta a diferentes niveles de daño (chamuscado de copa), por incendios de diferente intensidad. Este modelo se presenta en el cuadro 10.

Cuadro 10. Modelo descriptivo de los efectos del chamuscado de copa y la respuesta del árbol en las variables ancho del anillo posterior al incendio, recuperación de la copa y emisión de rebrotes.

Nivel de daño en la copa	Variables medidas	Observaciones
 Control	Ancho del último anillo anual Recuperación del follaje afectado Emisión de rebrotes	Control No se afectó No
 < 30% de chamuscado	Ancho del último anillo anual Recuperación del follaje Emisión de rebrotes	32% más, que el control. 11% 1.34 /árbol
 30- 60% de chamuscado	Ancho del último anillo anual Recuperación del follaje Emisión de rebrotes	Similar al control 39 % 1.09 /árbol
 > 60% de chamuscado sin muerte de yemas terminales	Ancho del último anillo anual Recuperación del follaje Emisión de rebrotes	Reducción en un 13% respecto al control 70% 0.68 /árbol

Como se observa en el cuadro 10, los árboles control permanecieron igual en ambas mediciones respecto a las variables analizadas. Cuando el árbol sufre un

chamuscado de copa ligero ($<30\%$), se eliminaron parte de las hojas menos eficientes en las partes bajas de la copa, y el follaje de la copa restante permanece sin daño. Este último es un follaje joven y por lo tanto mucho más eficiente en la producción de carbohidratos mediante la fotosíntesis, y con base en las respuestas observadas, se puede decir que la mayor parte de éstos se destinan, al crecimiento en diámetro y probablemente en altura, a emitir rebrotes en un mayor número respecto a todos los demás tratamientos, y, en último termino, a la recuperación de la copa, que fue poco afectada.

Esta respuesta se puede deber a que sus necesidades vitales se satisficieron y existe un excedente de energía que se destina en orden de importancia, al crecimiento en diámetro, mecanismos de regeneración (emisión de rebrotes) y en menor cuantía la recuperación de la copa.

Cuando se chamusca la copa entre 30 a 60%, la distribución de carbohidratos en similar a los árboles control, es decir, el crecimiento en diámetro permanece igual, salvo que existe una respuesta fisiológica del árbol al fuego como es la emisión de rebrotes y una mayor recuperación de la copa, que fue más afectada. Por lo anterior, se puede decir que la producción excedente de carbohidratos se destina más a recuperar el follaje y la emisión de rebrotes.

Pero cuando se tiene un chamuscado de copa elevado ($>60\%$), los carbohidratos se destinan principalmente a la recuperación de la copa, y en menor proporción a la emisión de rebrotes, reduciéndose el crecimiento en diámetro con respecto al control;

por lo que se puede decir que la prioridad del árbol es sobrevivir, generando follaje nuevo para producir la energía que se esta demandando, y entonces poder realizar los demás procesos fisiológicos como crecimiento y reproducción.

Otro aspecto más, relacionado con que la intensidad del fuego afecta el ancho del anillo de crecimiento y la proporción de madera tardía y temprana, es que en los estudios dendrocronológicos, hasta donde se sabe, no toman en cuenta el fuego como factor de reducción del ancho del referido anillo. Cabe señalar que no siempre habría cicatriz dejada por el fuego para correlacionarla con un anillo más angosto, en caso de incendio superficial intenso.

8. CONCLUSIONES

Un chamuscado de copa ligero, menor del 30% para *Pinus hartwegii*, estimula el crecimiento del anillo anual posterior al incendio (y el crecimiento anual en diámetro sin corteza) en un 32 %, respecto a los árboles control. Con un chamuscado de copa entre 30-60% en esta especie, el crecimiento del anillo anual posterior al incendio es similar a los árboles control. Un chamuscado mayor del 60% reduce el ancho de dicho anillo en un 13%. *Pinus hartwegii*, tolera chamuscados de copa intensos incluso del 100%, siempre que la yema terminal sobreviva.

Existe una mayor recuperación de la copa (70%), en los árboles que sufrieron un chamuscado de copa intenso, en relación a los árboles que sufrieron un chamuscado de copa medio (39%) y ligero (11%).

El fuego estimula la emisión de rebrotes en los árboles de esta especie, existiendo una mayor cantidad en árboles que sufrieron un chamuscado de copa ligero y localizados en la exposición Este. Sobre la exposición Norte, los árboles más chamuscados emiten un mayor número de rebrotes.

Existe correlación entre el crecimiento del anillo anual posterior al incendio y el porcentaje de chamuscado de copa; misma que se utilizó para generar un modelo de crecimiento para el anillo anual posterior al incendio, basándose en el chamuscado de copa promedio en rangos de 10%. El modelo generado tiene una $R^2=0.86$ y un coeficiente de variación de 9.06.

El modelo de crecimiento del anillo anual posterior al incendio, generado en esta investigación, puede ser una herramienta útil para evaluar el efecto de los incendios en el crecimiento en diámetro, con observaciones sencillas en los árboles (chamuscado de copa), y aplicable a esta y otras especies emparentadas con el *Pinus hartwegii*.

La densidad básica del anillo anual posterior al incendio, aumento ligeramente, respecto al anillo anual formado antes del incendio; pero no influye en la clasificación, por densidad de la madera, respecto a esta característica. Esta diferencia se debe principalmente al aumento en la proporción de madera tardía de un 22% antes del incendio a un 29% después del incendio.

Pinus hartwegii es una especie adaptada al fuego, ya que se estimula el crecimiento del anillo anual posterior al incendio y por consecuencia del diámetro, cuando se tienen chamuscados de copa ligeros, la copa se recupera muy bien aún en chamuscados de copa intensos (100%), siempre que no se mate a la yema terminal, y además este árbol emite rebrotes después de un incendio.

La información generada en este trabajo, puede ser útil en áreas donde habita *Pinus hartwegii*, ya que proporciona información que puede utilizarse en planes de manejo del fuego.

Los resultados presentados están dados para arbolado de las dimensiones y edades de los individuos muestreados en esta investigación, si bien se considera que las tendencias encontradas son aplicables a árboles de mayor porte.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda quemar de manera prescrita, a intensidades bajas, las áreas forestales donde habita *Pinus hartwegii*, ya que se propicia una poda ligera en los árboles al eliminar las ramas bajas de la copa y por lo tanto se estimula el crecimiento en diámetro, la emisión de rebrotes y no se tienen problemas de mortandad. Sin embargo, queda por investigarse el periodo de retorno promedio, y la variación; de tales quemas, y considerar la presencia de incendios forestales, pues un exceso de fuego es detrimental.

Para fines de manejo de la especie, el chamuscado de copa en una variable que se puede utilizar para estimar el efecto del fuego en los árboles, particularmente en el crecimiento en diámetro, cuando se realizan quemas prescritas o cuando acontecen incendios.

El fuego es una herramienta silvícola que puede utilizarse en esta especie con sus debidas precauciones, dado que si se chamusca un proporción de copa mayor del 60% el crecimiento en diámetro se ve reducido, por lo anterior se debe de modelar el comportamiento del fuego (realizar una prescripción) cuando se quiere realizar quemas prescritas, para minimizar las probabilidades de daños, un comportamiento no deseado del mismo, tal que se pueda afectar negativamente a los árboles; teniendo cuidado particularmente en el largo de la llama (intensidad de la quema), cuando latizal y en las localidades con mayor carga de combustibles, ya que es una especie que no alcanza gran tamaño por los lugares donde se desarrolla.

El modelo de crecimiento generado a partir de las variables ancho del anillo anual posterior al incendio y la proporción de chamuscado de copa, puede ser utilizado en las áreas forestales donde habita *Pinus hartwegii*, para predecir el efecto del fuego en el crecimiento en diámetro.

Debido a que existen efectos positivos de los incendios en los árboles y no solamente negativos, como se suele pensar comúnmente, es necesario estudiar las poblaciones, comunidades y ecosistemas mexicanos que son constantemente afectados por incendios, ya que se desconoce analíticamente la función del fuego en la gran mayoría de ellas.

Se sugiere estudiar en un lapso de tiempo mas largo, otras respuestas de los árboles al fuego como son: la recuperación de copa total, mortalidad, crecimiento en altura, el grosor de corteza y las propiedades físicas de la madera como son la densidad de la madera y las características anatómicas de la misma.

Realizar estudios similares en otras especies que por sus condiciones están sujetas a incendios frecuentes.

Llevar a cabo otra investigación similar a la presente para diferenciar y cuantificar el efecto del aporte de nutrientes por las cenizas del efecto del chamuscado de copas.

Debiera generarse una línea de investigación, dentro de los estudios dendrocronológicos, avocada a identificar cuando un anillo angosto corresponde a la presencia de un incendio intenso, cuando este último no deje cicatriz entre los anillos.

10. LITERATURA CITADA

- ALBINI, F. A. 1976. Estimating wildfire behavior and effects. USDA, For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-30. Intermt. For. and Range Exp. Sta., Ogden, UT. 92 p.
- ALEXANDER, R. R. 1987. Silvicultural systems, cutting methods, and cultural practices for Black Hills ponderosa pine. Gen. Tech. Rep. RM-139. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 32 p.
- ANFODILLO, T; MAURI, W y COLPI, C. 1997. Predicting post-fire of oak trees. Monti-e-Boschi. 48(2):48-53 pp.
- ANDRADE, E.V.1981. Evaluación de efectos de muerdago enano (*Arceuthobium globosum* HAWK y WIENS, y *A. vaginatum* Willd) en rodales de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de enseñanza, investigación y servicio en bosques. Chapingo, México. 88 p.
- ARMSTRONG, W. E. 1980. Impact of prescribed burning on wildlife. In: White, Larry D., ed. Prescribed range burning in the Edwards Plateau of Texas: Proceedings of a symposium; 1980 October 23; Junction, TX. College Station, TX: Texas Agricultural Extension Service, The Texas A&M University System: 22-26.
- ARNO, S. F. 1985. Ecological effects and management implications of Indian fires. In: Lotan, James E.; Kilgore, Bruce M.; Fisher, William C.; Mutch, Robert W., technical coordinators. Proceedings--Symposium and workshop on wilderness fire; 1983 November 15-18; Missoula, MT. Gen. Tech. Rep. INT-182. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station: 81-86.
- ASHTON, D. H. 1981. Fire in tall open-forests (wet sclerophyll forests). In: Gill, A. M.; Groves, R. H.; Noble, I. R., eds. Fire and the Australian biota. Canberra City, ACT: The Australian Academy of Science: 339-366.
- BARDEN, L. S. y WOODS, F. W. 1976. Effects of fire on pine and pine-hardwood forests in the southern Appalachians. Forest Science. 22(4): 399-403.
- BEAMAN, J. H. 1962. The timberlines of Iztaccihuatl and Popocatepetl, México. Ecology. 43(3): 337-385.
- BINKLEY, D. 1993. Nutrición forestal. Practicas de manejo. Limusa. México D.F. 340 p.

- BISWELL, H. H.; KALLANDER, H. R.; KOMAREK, R.; et al. 1973. Ponderosa fire management. Misc. Publ. No. 2. Tallahassee, FL: Tall Timbers Research Station. 49 p.
- BOYER, W. D. 1990. Growing-season burns for control of hardwoods in longleaf pine stands. Res. Pap. SO-256. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 7 p.
- BRATTON, S.P. 1993. Survivorship of evergreen hardwoods after wildfire in maritime forest. Cumberland Island National Seashore, Georgia. *Castanea*. 58(1):34-44 pp.
- BROWN, A. A. y DAVIS, K. P. 1973. Forest fire control and use. 2nd ed. New York: McGraw-Hill. 686 p.
- BRUCE, D. 1951. Fire, site, and longleaf height growth. *Journal of Forestry*. 49(1): 25-28.
- BRUCE, D. y BICKFORD, C. A. 1950. Use of fire in natural regeneration of longleaf pine. *Journal of Forestry*. 48(2): 114-117.
- BUCHHOLZ, K. y GOOD, R. E. 1982. Density, age structure, biomass and net annual aboveground productivity of dwarfed *Pinus rigida* Moll. from the New Jersey Pine Barren Plains. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 109(1): 24-34.
- CABALLERO D, M. 1967. Estudio comparativo de *Pinus rudis* End. y *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de Bosques. Chapingo, México. 139 p.
- COLWELL, R. N. 1973. ERTS-1 imagery and high flight photographs as aids to fire hazard appraisal at the NASA San Pablo Reservoir Test Site. In: Symposium on significant results obtained from the Earth Resources Technology Satellite 1: Proceedings; pp: 145-156.
- COOPER, C. F. 1960. Changes in vegetation, structure, and growth of outhwestern pine forests since white settlement. *Ecological Monographs*. 30(2): 129-164.
- COOPER, R.W.; ALTOBELLIS, A. T. 1969. Fire kill in young loblolly pine. *Fire Control Notes*. 30(4)
- CHAMBERS, J. C.; SCHUPP, E. W. y VANDER W. S. B. 1999. Seed dispersal and seedling establishment of pinon and juniper species within the pinon-juniper woodland. In: Monsen, Stephen B.; Stevens, Richard, compilers. Sustaining and restoring a diverse ecosystem: Proceedings: ecology and management of pinyon-juniper communities within the Interior West; 1997 September 15-18; Provo, UT. Proc. RMRS-P-9. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: 29-34.

- CHROSCIEWICZ, Z. 1986. Foliar moisture content variations in four coniferous tree species of central Alberta. *Can. J. For. Res.* 16:157-162.
- DANIEL W. T; HELMS, A.J y BACKER S.F. 1982. Principios de silvicultura. McGraw-Hill. Segunda Edición, México. 492 p.
- DE RONDE, C. 1982. The resistance of *Pinus* species to fire damage. *South African Forestry Journal.* 122: 22-27.
- DE RONDE, N. 1990. How to minimize losses after wildfire by the application of damage evaluation techniques in pine stands. In: International Conference of Forest Fire Research; 1990 November 22; Coimbra, Portugal. Coimbra, Portugal: International Conference on Forest Fire Research: B.22 - 1-9.
- DOUGHERTY, R. y RIGGAN, P. J. 1982. Operational use of prescribed fire in southern California chaparral. In: Conrad, C. Eugene; Oechel, Walter C., technical coordinators. Proceedings of the symposium on dynamics and management of Mediterranean-type ecosystems; 1981 June 22-26; San Diego, CA. Gen. Tech. Rep. PSW-58. Berkeley, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station: 502-510.
- EGUILUZ P, 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.
- EVERETT, R. L.; KONIAK, S. y BUDY, J. D. 1986. Pinyon seedling distribution among soil surface microsites. Research Paper INT-363. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. 3 p.
- FAO. 1999. Situación de los bosques del mundo. FAO. Roma. 154 p.
- FERGUSON, E. R. 1955. Fire-scorched trees - will they live or die?. In: Modern forest fire management in the south: Proceedings, 4th annual forestry symposium; 1955 April 6-7; Baton Rouge, LA. Baton Rouge, LA: Louisiana State University, General Extension Division, School of Forestry: 102-113.
- FERNANDEZ G, M. 1985. Análisis florístico estructural de una comunidad forestal en el Parque Nacional "Desierto de los Leones", bajo condiciones ecológicas diferentes. UNAM-INIF; Trabajo del Plan Modular de la ENEFI.
- FISCHER, W. C. y BRANDLEY, A. F. 1987. Fire ecology of western Montana forest habitat types. Gen. Tech. Rep. INT-223. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. 95 p.

- FISCHER, W. C. y CLAYTON, B. D. 1983. Fire ecology of Montana forest habitat types east of the Continental Divide. Gen. Tech. Rep. INT-141. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 83 p.
- FLINT, H. R. 1925. Fire resistance of northern Rocky Mountain conifers. *Idaho Forester*. 7: 7-10, 41-43.
- FOWELLS, H. A. 1965. Silvics of forest trees of the United States. Agric. Handb. 271. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 762 p.
- FRANDSEN, W. H. y K. C. RYAN. 1986. Soil moisture reduces belowground heat flux and soil temperatures under a burning fuel pile. *Can. J. For. Res.* 16:244-248.
- FULE, P.Z; GARCIA, A.A y COVINGTON, W.W. 2000. Effects of an intense wildfire in a Mexican oak-pine forest. *Forest Science*. 46(1):52-61 pp.
- GARCIA, E. 1973. Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma De México. México, 248 p.
- GARREN, K. H. 1943. Effects of fire on vegetation of the southeastern United States. *Botanical Review*. 9: 617-654.
- GARY, H. L. 1971. Seasonal and diurnal changes in moisture contents and water deficits of Engelmann spruce needles. *Bot. Gaz.* 132(4):327-332.
- GILL, A. M. 1974. Toward an understanding of fire-scar formation: field observation and laboratory simulation. *Forest Science*. 20(3):198-205.
- GILL, A. M. 1977. Plant traits adaptive to fires in Mediterranean land ecosystems. In: Mooney, Harold A.; Conrad, C. Eugene, technical coordinators. Proceedings of the symp. on the environmental consequences of fire and fuel management in Mediterranean ecosystems; 1977 August 1-5; Palo Alto, CA. Gen. Tech. Rep. WO-3. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 17-26.
- GOLDAMMER, J y S. MANANA. 1996. Incendios en los bosques tropicales. *Actualidad Forestal Tropical* 4(1):3-7.
- GRELEN, H. E. 1983. May burning favors survival and early height growth of longleaf pine seedlings. *Southern Journal of Applied Forestry*. 7(1): 16-20.

- HARRINGTON, M. G. 1987. Ponderosa pine mortality from spring, summer, and fall crown scorching. *Western Journal of Applied Forestry*. 2: 14-16.
- HARRINGTON, M.G. 1993. Predicting *Pinus ponderosa* mortality from dormant season and growing season fire injury. *International Journal of Wildland Fire*. 3(2): 65-72 pp.
- HENDERSON, R. C.. 1967. Thinning ponderosa pine in western Montana with prescribed fire. Missoula, MT: University of Montana. 108 p. Thesis.
- HERMAN, F. R. 1954. A guide for marking fire-damaged ponderosa pine in the Southwest. Res. Note RM-13. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 4 p.
- HERNÁNDEZ, H. M. 1985. Variación natural de *Pinus hartwegii* Lind.: Dimensiones transversales de las traqueidas en un transecto altitudinal de Zoquiapan. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 59 p.
- HORTON, J. S. 1949. Trees and shrubs for erosion control of southern California mountains. Berkeley, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, California [Pacific Southwest] Forest and Range Experiment Station; California Department of Natural Resources, Division of Forestry. 72 p.
- JOHANSEN, R. W. 1975. Prescribed burning may enhance growth of young slash pine. *Journal of Forestry*. 73: 148-149.
- JOHANSEN, R.W y WADE, D.D. 1987. Effects of crown scorch on survival and diameter growth of slash pines. *Southern Journal of Applied Forestry*. 11(4): 180-184 pp.
- KEELEY, J. E. y ZEDLER, P. H. 1998. Evolution of life histories in *Pinus*. In: Richardson, D. M., ed. *Ecology and biogeography of Pinus*. Boston: Cambridge University Press: 219-250.
- KELLAS, J.D; INCOLL, W.D; SQUIRE, R.O. 1984. Reduction in basal area increment of *Eucalyptus obliqua* following crown scorch. *Australia Forestry*. 47(3):179-183 pp.
- KLEPAC, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo, 2da. Edición, Chapingo, México. 365 p.
- KOZLOWSKI, T.T y PALLAARDY, G.S. 1997. *Physiology of Woody Plants*. Academic Press. Second Edition. San Diego California, U.S.A. 411 p.

- KOMAREK, E. V. 1982. Economic and environmental evaluation of prescribed burning and alternatives. Report on Contract No. 53-43ZP-1-00839. Atlanta, GA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Region. 192 p.
- LAMPI, A. O. 1960. The use of fire in ponderosa pine management. Missoula, MT: Montana State University. 76 p. Thesis.
- LANDSBERG, J.D; P.H. COCHRAN; M.M. FICK and R.E. MARTIN. 1984. Foliar Nitrogen content and tree growth after prescribed fire in Ponderosa pine. Research Note PNW-412.USDA, FS, Pacific South west Forest and Range Experiment Station.
- LANDSBERG, J. D. 1994. A review of prescribed fire and tree growth response in the genus *Pinus*. IN: Proceedings of the Twelfth Conference on Fire and Forest Meteorology, Jekyll Island, Georgia, EUA. 26-28 october, 1993. pp:326-346.
- LANGDON, O. G. 1971. Effects of prescribed burning on timber species in the Southeastern Coastal Plain. In: Prescribed burning symposium: Proceedings; 1971 April 14-16; Charleston, SC. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station: 34-44.
- LARIOS, S. P. 1979. Índice de calidad de las pulpas de dos coníferas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Bosques. Chapingo, México. 68 p.
- LILIEHOLM, R. J. y HU, Shih-Chang. 1987. Effect of crown scorch on mortality and diameter growth of 19-year-old loblolly pine. Southern Journal of Applied Forestry. 11(4): 209-211.
- LITTLE, S. 1974. Effects of fire on temperate forests: northeastern United States. In: Kozlowski, T. T.; Ahlgren, C. E., eds. Fire and ecosystems. New York: Academic Press: 225-250.
- LOOK, E. M. 1950. The pines of Mexico and British Honduras. L.S.Gray Co., South Africa. pp 12-133.
- LOTAN, J. E.; BROWN, J. K. y NEUENSCHWANDER, L. F. 1985. Role of fire in lodgepole pine forests. In: Baumgartner, David M.; Krebill, Richard G.; Arnott, James T.; Weetman, Gordon F., compilers and editors. Lodgepole pine: The species and its management: Symposium proceedings; 1984 May 8-10; Spokane, WA; 1984 May 14-16; Vancouver, BC. Pullman, WA: Washington State University, Cooperative Extension: 133-152.
- LOTTI, T. 1959. The use of fire in the management of Coastal Plain loblolly pine. In: Proceedings, Society of American Foresters annual meeting; 1959; San Francisco, CA. Bethesda, MD: Society of American Foresters: 18-20.

- LOVREGLIO, R; FIDANZA, F y LEONE, V. 1999. A model for estimating post FIRE survival in *Pinus halapensis*. Italia Forestale e Montana. 54(4):178-190 pp.
- MALLORY, J. I. 1980. Canyon live oak. In: Eyre, F. H., ed. Forest cover types of the United States and Canada. Washington, DC: Society of American Foresters: 125-126.
- MANCERAS V., O. 1956. Contribución al conocimiento de la anatomía microscópica de algunas especies de pinos mexicanos. Instituto de Investigaciones Forestales. México. 80 p.
- MAPLE, W. R. 1976. How to estimate longleaf seedling mortality before control burns. Journal of Forestry. 74(8): 517-518.
- MARTIN, R. E. 1963. A basic approach to fire injury of tree stems, p. 151-162. IN Proc. Tall Timbers Fire Ecol. Conf. No. 2. Tall Timbers Res. Sta., Tallahassee, FL.
- MCCULLEY, R. D. 1950. Management of natural slash pine stands in the Flatwoods of south Florida and north Florida. Circular No. 845. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture. 57 p.
- METHVEN, I. R. 1971. Prescribed fire, crown scorch and mortality: field and laboratory studies on red and white pine. Information Report PS-X-31. Chalk River, ON: Department of the Environment, Canadian Forestry Service, Petawawa Forest Experiment Station. 10 p.
- MILLER, M. y J. FINDLEY . 2000. Fire Effects Guide. Capítulo 6. Plantas. National Wildlife Coordinating Group. Fire Use Working Team. U.S.A. pp:110-141. Pagina de internet: <http://fire.fws.gov/ifcc/monitor/EFGuide/Plants>.
- MINNICH, R. A. 1980. Wildfire and the geographic relationships between canyon live oak, Coulter pine, and bigcone Douglas-fir forests. In: Plumb, Timothy R., technical coordinator. Proceedings of the Symposium on the ecology, management and utilization of California oaks; 1979 June 26-28; Claremont, CA. Gen. Tech. Rep. PNW-44. Berkeley, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station: 55-61.
- MINNICH, R. A. 1977. The geography of fire and big-cone Douglas-fir, Coulter pine and western conifer forests in the east transverse ranges, southern California. In: Mooney, Harold A.; Conrad, C. Eugene, technical coordinators. Proc. of the symp. on the environmental consequences of fire and fuel management in Mediterranean ecosystems; 1977 August 1-5; Palo Alto, CA. Gen. Tech. Rep. WO-3. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 443-450.

- MINNICH, R. A. 1980. Vegetation of Santa Cruz and Santa Catalina Islands. In: Power, Dennis M, ed. The California islands: proceedings of a multidisciplinary symposium; [Date of conference unknown]; [Location of conference unknown]. Santa Barbara, CA: Santa Barbara Museum of Natural History: 123-137.
- MOREY, R. P. 1977. Cómo crecen los árboles. Cuadernos de Biología. Omega. Barcelona, España. 64 p.
- MORRIS, W. G. y MOWAT, E. L. 1958. Some effects of thinning a ponderosa pine thicket with a prescribed fire. Journal of Forestry. 56: 203-209.
- MUTCH, L.S y PARSONS, D.J. 1998. Mixed conifer forest mortality and establishment before and after prescribed fire in Sequoia National Park, California. Forest Science. 44(3):341-355 pp.
- NORUM R., A. y M. MILLER. 1984. Measuring fuel moisture content in Alaska: Standard methods and procedures. USDA, For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-171. Pacif. Northw. For. and Range Exp. Sta., Portland, OR. 34 p.
- OGAZ, I. B. y D. CIBRIAN T. 1980. Biología de *Gnathotrichus sulcatus* (Le Conte) en *Pinus hartwegii* Lindl. Bajo condiciones climáticas diferentes. Memoria del primer Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal. Uruapan, Michoacán, México pp: 137-148.
- ORTEGA, S., J. H. 1952. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Abies religiosa* (H.B.K) Schl. Et Cham y *Pinus Hartwegii* Lindl. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de Bosques. Chapingo, México. 85 p.
- ORANTES, G. R. F. 1980. Determinación de calidad de estación para *Pinus hartwegii* Lindl. En Zoquapan, Mex. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de enseñanza, investigación y servicio en Bosques. Chapingo, México. 76 p.
- PERRY JR., J.P. 1991. The pines of México and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.
- PETERSON, D. L. 1985. Crown scorch volume and scorch height: Estimates of postfire tree condition. Can. J. For. Res. 15:596-598.
- PETERSON, D. L. y ARBAUGH, M. J. 1986. Postfire survival in Douglas-fir and lodgepole pine: comparing the effects of crown and bole damage. Canadian Journal of Forest Research. 16: 1175-1179.

- PFISTER, R. D.; KOVALCHIK, B. L.; ARANO, S. F. y PRESBY, R. C. 1977. Forest habitat types of Montana. Gen. Tech. Rep. INT-34. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 174 p.
- PLUMB, T. R. 1980. Response of oaks to fire. In: Plumb, Timothy R., technical coordinator. Proceedings of the symposium on the ecology, management, and utilization of California oaks; 1979 June 26-28; Claremont, CA. Gen. Tech. Rep. PSW-44. Berkeley, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station: 202-215.
- PLUMB, T. R. y GOMEZ, A. P. 1983. Five southern California oaks: identification and postfire management. Gen. Tech. Rep. PSW-71. Berkeley, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. 56 p.
- PLUMB, T. R. y McDONALD, P. M. 1981. Oak management in California. Gen. Tech. Rep. PSW-54. Berkeley, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. 11 p.
- PRITCHETT, L.W. 1986. Suelos Forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial Limusa, S.A de C.V. México D.F. 634 p.
- RODRÍGUEZ, T., D.A. 1996. Incendios Forestales. Mundi-Prensa. México. Universidad Autónoma Chapingo. México, D.F, 630 p.
- RONDE, C. De. 1983. Controlled burning in pine stands in the cape. The influence of crown scorch on tree growth and litterfall. South African Forestry Journal. 127: 39-41 pp.
- RYAN K. C., D. L. PETERSON y E. D. REINHARDT. 1988. Modeling long-term fire-caused mortality of Douglas-fir. For. Sci. 34(1):190-199.
- RYAN, K. C. 1982. Evaluating potential tree mortality from prescribed burning. In: Baumgartner, David M., ed. Site preparation and fuels management on steep terrain: Proceedings of a symposium; 1982 February 15-17; Spokane, WA. Pullman, WA: Washington State University, Cooperative Extension: 167-179.
- RYAN, K. C. y FRANDSEN, W. H. 1991. Basal injury from smoldering fires in mature *Pinus ponderosa* Laws. International Journal of Wildland Fire. 1(2): 107-118.
- RYAN, K. C. y REINHARDT, E. D. 1988. Predicting postfire mortality of seven western conifers. Canadian Journal of Forest Research. 18: 1291-1297.

- RZEDOWSKI, J. 1983. Principales comunidades vegetales. Flora fanerogámica del Valle de México. Vol I. CECSA. México, D.F. 47-54 pp.
- RZEDOWSKI, J. 1983. Vegetación de México. Limusa. México. 423 p.
- SANTILLAN P., J. 1991. Silvicultura de las coníferas de la Región Central. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias forestales. Chapingo, México. 305 p.
- SARUKHAN K., J. y M. FRANCO B. 1981. Un modelo de simulación de la productividad forestal de un bosque de pino. SARH. Subsecretaria Forestal y de la Fauna. Unidad de Apoyo Técnico, No.1. Serie Premio Nacional Forestal.
- SAVELAND, J. M. y BUNTING, S. C. 1988. Fire effects in ponderosa pine forests. In: Baumgartner, David M.; Lotan, James E., compilers. Ponderosa pine: the species and its management: Symposium proceedings; 1987 September 29 - October 1; Spokane, WA. Pullman, WA: Washington State University, Cooperative Extension: 125-131.
- SAVELAND, J. M. y NEUENSCHWANDER, L. F. 1989. Predicting ponderosa pine mortality from understory prescribed burning. In: Baumgartner, David M.; Breuer, David W.; Zamora, Benjamin A.; [and others], compilers. Prescribed fire in the Intermountain region: Symposium proceedings; 1986 March 3-5; Spokane, WA. Pullman, WA: Washington State
- SCHMIDT, W. C. y SHEARER, R. C. 1990. *Larix occidentalis* Nutt. western larch. In: Burns, Russell M.; Honkala, Barbara H., technical coordinators. Silvics of North America. Volume 1. Conifers. Agric. Handb. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 160-172.
- SCHMIDT, W. C.; SHEARER, R. C. y NAUMANN, J. R. 1983. Western larch. In: Burns, Russell M., compiler. Silvicultural systems for the major forest types of the United States. Agric. Handb. 445. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 56-58.
- SCHMIDT, W. C.; SHEARER, R. C. y ROE, A. L. 1976. Ecology and silviculture of western larch forests. Tech. Bull. 1520. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 96 p.
- SEMARNAP. 2000. Pagina internet: [http:// www.Semarnap. gob.mx](http://www.Semarnap.gob.mx).
- SHAFIZADEH, F. P., S. CHIN y W. F. DEGROOT. 1977. Effective heat content of green forest fuels. For. Sci. 23(1):81-87.
- SHEARER, R., C. 1975. Seedbed characteristics in western larch forests after prescribed burning. USDA, For. Serv. Res Pap. INT-167. Intermt. For. and Range Exp. Sta., Ogden, UT.

- SKOLMEN, R.G. y LEDING, F. T. 1990. *Eucalyptus globulus* Labill. bluegum eucalyptus. In: Burns, Russell M.; Honkala, Barbara H., technical coordinators. Silvics of North America: Vol. 2, Hardwoods. Agriculture Handbook 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 299-304.
- SOLIS, P. M. A. 1994. Monografía de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 130 p.
- SOLÓRZANO, I. 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.
- STEELE, R. 1990. *Pinus flexilis* James limber pine. In: Burns, Russell M.; Honkala, Barbara H., technical coordinators. Silvics of North America. Volume 1. Conifers. Agric. Handb. 654.. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 348-354.
- TALLEY, S. N. y GRIFFIN, J. R. 1980. Fire ecology of a montane pine forest, Junipero Serra Peak, California. Madroño. 27: 49-60.
- TESCH, S. D. y HOBBS, S. D. 1986. Sprouting brush is tough competition for planted Douglas-fir seedlings in southwest Oregon. In: Proceedings, 7th annual forest vegetation management conference; 1985 November 6-7; Eureka, CA. Redding, CA: Forest Vegetation Management Conference: 81-84. University, Cooperative Extension: 45-48.
- VALE, T. R. 1979. *Pinus coulteri* and wildfire on Mount Diablo, California. Madroño. 26(3): 135-140.
- VALLENTINE, J. F. 1971. Range development and improvements. Provo: Brigham Young University Press. 516 pgs.
- VAN LOON, A. P. 1967. Some effects of a wild fire on a southern pine plantation. Res. Note No. 21. New South Wales, Aust.: Forestry Commission of New South Wales. 38 p.
- VAN SICKLE, F. S. y HICKMAN, R. D. 1959. The effect of understory competition on the growth rate of ponderosa pine in north central Oregon. Journal of Forestry. 57: 852-853.
- VAN WAGNER, C. E y METHVEN, I. R. 1978. Prescribed fire for site preparation in white and red pine. In: Cameron, D. A, compiler. White and red pine symposium; 1977 September 20-22; Chalk River, ON. Symposium Proceedings O-P-6. Sault Ste. Marie, ON: Department of the Environment, Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre: 95-101.

- VILLARRUBIA, C. R. y CHAMBERS, J. L. 1978. Fire: its effects on growth and survival of loblolly pine, *Pinus taeda* L. Louisiana Academy of Sciences. Baton Rouge, LA: Louisiana State University; 41: 85-93.
- WADE D., D. y R. W. JOHANSEN. 1986. Effects of fire on southern pine: Observations and recommendations. USDA, For. Serv. Gen. Tech. Rep. SE-41. Southea. For. Exp. Sta., Asheville, NC. 14 p.
- WADE, D. D. 1983. Fire management in the slash pine ecosystem. In: Proceedings of the managed slash pine ecoystem; 1981; Gainesville, FL. Gainesville, FL: University of Florida: School of Forest Resources and Conservation: 203-227; 290-294; 301.
- WADE, D. D. 1986. Linking fire behavior to its effects on living plant tissue. IN Proc. Ann. Conv. Soc. Amer. Foresters. Birmingham, AL. Unpaged.
- WADE, D. D.; DEBARR, G. L.; BARBER, L. R. y MANCHESTER, E. 1989. Prescribed fire - a cost effective control for white pine cone beetle. In: MacIver, D. C.; Auld, H.; Whitewood, R., eds. Proceedings, 10th conference on fire and forest meteorology; 1989 April 17-21; Ottawa, ON. [Place of publication unknown]: [Publisher unknown]: 117-121. [Copies available from: Petawawa National Forestry Institute; Department of Forest Science, University of Alberta, Edmonton, AB; Canadian Climate Centre, Downsview, ON].
- WAGENER, W. W. 1961. Guidelines for estimating the survival offire-damaged trees in California. Misc. Paper 60. Berkeley, CA: U.S.A. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. 11 p.
- WALDROP, T. A. y LLOYD, F. T. 1988. Precommercial thinning a sapling-sized loblolly pine stand with fire. Southern Journal of Applied Forestry. 12(3): 203-207.
- WALDROP, T.A., y D.H. VAN LEAR. 1984. Effect of crown scorch on survival and growth of young loblolly pine, S.J, Appl. For. 8(1);35-40.
- WALKER, L. C. y WIAANT, H. V. 1966. Silviculture of shortleaf pine. Bull. No. 9. Nacogdoches, TX: Stephen F. Austin State College, School of Forestry. 59 p.
- WEAVER, H. 1968. Fire and its relationship to ponderosa pine. In: Proceedings, California Tall Timbers fire ecology conference; 1967 November 9-10; Hoberg, CA. Number 7. Tallahassee, FL: Tall Timbers Research Station: 127-149.

- WEISE, D.R; JOHANSEN, R.W y WADE, D.P. 1987. Effects of spring defoliation on first year growth of young loblolly and slash pines. Research Note Southeastern Forest Experiment Station USD Forest Service. 4 pp.
- WINK, R. L. y WRIGHT, H. A. 1973. Effects of fire on an ashe juniper community. *Journal of Range Management*. 26(5): 326-329.
- WRIGHT, H. A. 1978. The effect of fire on vegetation in ponderosa pine forests: A state-of-the-art review. Lubbock, TX: Texas Tech University, Department of Range and Wildlife Management. 21 p. In cooperation with: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- WRIGHT, H. A. y A. W. BAILEY. 1982. Fire ecology, United States and southern Canada. John Wiley and Sons, Wiley-Interscience Publication, New York. 501 p.
- WYANT, J. G.; OMI, P. N. y LAVEN, R. D. 1986. Fire induced tree mortality in a Colorado ponderosa pine/Douglas-fir stand. *Forest Science*. 32(1): 49-59.

Anexo 1. Formato para la toma de datos en campo

FORMATO PARA LA TOMA DE DATOS EN CAMPO

DATOS DE CONTROL:

NOMBRE:	FECHA:	DELEGACION O MUNICIPIO
LUGAR:	PARAJE:	ALTITUD:
PENDIENTE:	EXPOSICION:	DIRECCION DEL FUEGO(DE LA QUE VINO)

DATOS DASOMETRICOS

ESPECIE:

NO. DE ARBOL	ALT. TOTAL (M)	ALT. DE COPA (M)	ALTURA DE CHAMUSCADO EN COPA (M)	LARGO DE COPA (M)	ALTURA DE LLAMAS (M)	FORMA DE LA COPA	DIAM. DE COPA	FORMA DEL FUSTE	D.N	GROSOR DE CORTEZA	VIRUTA EDAD	LARGO DEL ULTIMO ANILLO	TIPO DE DAÑO	No. VERTI	CON O SIN ELONG DE YEMAS
1															
2															
.															
.															
.															
.															
103															
104															

OBSERVACIONES:

FECHA DE LA QUEMA:	PRESENCIA DE CONOS:
LEBERACION DE SEMILLA:	OTROS:

Anexo 2. Análisis de los contrastes de las variables largo del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana, recuperación de la copa y número de rebrotes con los tratamientos

Cuadro 1. Análisis del contraste de los tratamientos Control vs Baja para probar el efecto de los tratamientos en las variables largo del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana, recuperación de la copa y número de rebrotes.

Estadístico de prueba	Valor	F	Grados de libertad del numerador	Grados de libertad del denominador	Pr>F
Lambda Wilks	0.134302	228.8285	4	142	0.0001
Traza de Pillai	0.865697	228.8285	4	142	0.0001
Traza de Hotelling Lawley	6.445873	228.8285	4	142	0.0001
Raíz mas grande de Roy	6.445873	228.8285	4	142	0.0001

Cuadro 2. Análisis del contraste de los tratamientos Control vs Media, para probar el efecto de los tratamientos en las variables largo del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana, recuperación de la copa y número de rebrotes.

Estadístico de prueba	Valor	F	Grados de libertad del numerador	Grados de libertad del denominador	Pr>F
Lambda Wilks	0.108990	290.2176	4	142	0.0001
Traza de Pillai	0.891009	290.2176	4	142	0.0001
Traza de Hotelling Lawley	8.175144	290.2176	4	142	0.0001
Raíz mas grande de Roy	8.175144	290.2176	4	142	0.0001

Cuadro 3. Análisis del contraste de los tratamientos Control vs Alta para probar el efecto de los tratamientos en las variables largo del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana, recuperación de la copa y número de rebrotes.

Estadístico de prueba	Valor	F	Grados de libertad del numerador	Grados de libertad del denominador	Pr>F
Lambda Wilks	0.470656	39.9266	4	142	0.0001
Traza de Pillai	0.529343	39.9266	4	142	0.0001
Traza de Hotelling Lawley	1.124693	39.9266	4	142	0.0001
Raíz mas grande de Roy	1.124693	39.9266	4	142	0.0001

Cuadro 4 .Análisis del contraste de los tratamientos Baja vs Media, para probar el efecto de los tratamientos en las variables largo del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana, recuperación de la copa y número de rebrotes.

Estadístico de prueba	Valor	F	Grados de libertad del numerador	Grados de libertad del denominador	Pr>F
Lambda Wilks	0.571811	26.5834	4	142	0.0001
Traza de Pillai	0.428188	26.5834	4	142	0.0001
Traza de Hotelling Lawley	0.748828	26.5834	4	142	0.0001
Raíz mas grande de Roy	0.748828	26.5834	4	142	0.0001

Cuadro 5. Análisis del contraste de los tratamientos Baja vs Alta, para probar el efecto de los tratamientos en las variables largo del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana, recuperación de la copa y número de rebrotes.

Estadístico de prueba	Valor	F	Grados de libertad del numerador	Grados de libertad del denominador	Pr>F
Lambda Wilks	0.417816	49.4656	4	142	0.0001
Traza de Pillai	0.582183	49.4656	4	142	0.0001
Traza de Hotelling Lawley	1.393396	49.4656	4	142	0.0001
Raíz mas grande de Roy	1.393396	49.4656	4	142	0.0001

Cuadro 6. Análisis del contraste de los tratamientos Media vs Alta, para probar el efecto de los tratamientos en las variables largo del anillo anual posterior al incendio, proporción de madera tardía, proporción de madera temprana, recuperación de la copa y número de rebrotes.

Estadístico de prueba	Valor	F	Grados de libertad del numerador	Grados de libertad del denominador	Pr>F
Lambda Wilks	0.304895	80.9335	4	142	0.0001
Traza de Pillai	0.695104	80.9335	4	142	0.0001
Traza de Hotelling Lawley	2.279815	80.9335	4	142	0.0001
Raíz mas grande de Roy	2.279815	80.9335	4	142	0.0001

BIBLIOTECA CENTRAL U.A. CH