



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**REGENERACIÓN NATURAL POST-INCENDIO
EN EL
PARQUE NACIONAL "EL CHICO", HIDALGO.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A:
ALMA ROSA VARGAS JERÓNIMO

EJEMPLAR UNICO

DIRECTOR DE TESIS
M. en C. EFRAÍN REYES ÁNGELES CERVANTES

OCTUBRE 2003

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACION

DISCONTINUA

REGENERACION RURAL AL POST-INCENDIO

EN EL

PARQUE NACIONAL "EL CHICO" HIDALGO

TESIS CON
FALLA DE C. GEN

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento hacia todas las personas que contribuyeron en la realización de este trabajo de tesis. En primera instancia, al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica por la beca otorgada al proyecto **PAPIIT IN 217300** y a los profesores responsables: M. en C. Manuel Rico Bernal y al M. en C. Efraín Reyes Ángeles Cervantes.

De igual manera, a los profesores que amablemente aceptaron a revisar el contenido de este trabajo de investigación: M. en C. Manuel Rico, M. en C. Faustino López, Dr. Gerardo Cruz y el M. en C. Germán Calva.

A mis padres, **Valeria Jerónimo y Emeterio Vargas**, por todos los esfuerzos que implicó ofrecernos estudios a mis hermanos y a mí. En particular, por su atención e interés en enseñarnos a ser estudiantes de calidad.

A mis hermanos **Virgilio, María Elena, Verónica y Elizabeth**, por todos los preciosos momentos que vivimos juntos, entre pleitos, tristezas. Los quiero y los extraño. A mis sobrinos **Sandra, Marisol, Adrián y Osmar**, por haber sido los primeros bebés a quienes cuidé con mucho cariño.

A **Gustavo Villagrán**, por apoyarme en mi decisión de cuidar a nuestra hija durante sus dos primeros años. A **Dany Villagrán**, por ser la persona a quién más quiero y por enseñarme lo hermoso que significa ser tu mamá.

A **José Luis García** (por enseñarme a cocinar) y **Concepción Peñafior**, por la ayuda que me han ofrecido siempre, pero en especial, por hacerme sentir como si fuese su hija. A **Luis Eduardo Villagrán**, por dedicar parte de su tiempo a mi hija, por cuidarla, consentirla (demasiado), etcétera..., lo cual me facilitó terminar con este trabajo.

Agradezco también a **Marina, Miguel, Maciel, Ana, Ricardo y Mireya**, por todas las atenciones para Dany.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	
Aspectos generales de <i>Abies religiosa</i> (H.B.K) Schl. et Cham.	
Descripción botánica	4
Distribución de los bosques de <i>A. religiosa</i>	7
Clima, geología y suelo de los bosques de <i>A. religiosa</i>	9
Tipos de aprovechamiento	10
3. DINÁMICA DE LA REGENERACIÓN NATURAL	11
4. FACTORES QUE INTERVIENEN SOBRE LA REGENERACIÓN NATURAL	
Producción de semillas	13
Humedad y temperatura edáfica	15
Dosel	15
Micrositio	18
Plagas y enfermedades	20
5. INCENDIOS Y REGENERACIÓN NATURAL	
Clasificación de los incendios forestales	21
Incendios en bosques templados	24
6. REGENERACIÓN NATURAL POST-INCENDIO EN EL GÉNERO <i>Abies</i> .	26
7. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	30

8. ZONA DE ESTUDIO: Parque Nacional "El Chico".	
Localización	31
Suelo, clima y vegetación	33
9. DISEÑO METODOLÓGICO	
Elección de los sitios de muestreo	35
Trazo de cuadrantes y colecta de datos	38
Características del micrositio	38
Determinación de biomasa	40
Análisis estadístico de datos	40
10. RESULTADOS	
Arbolado adulto en las zonas post-incendio del Bosque de <i>Abies religiosa</i>	42
Densidad de semillas de <i>A. religiosa</i>	43
Densidad de plántulas recién emergidas	45
Densidad de brinzales de <i>A. religiosa</i> de cuatro años	48
Altura en brinzales de <i>A. religiosa</i> de cuatro años	51
Cobertura en brinzales de <i>A. religiosa</i> de cuatro años	53
Desarrollo del sistema de raíces en brinzales de <i>A. religiosa</i>	56
Biomasa en peso fresco del follaje de brinzales de <i>A. religiosa</i>	58
Biomasa peso seco del follaje de brinzales de <i>A. religiosa</i>	60
Biomasa en peso fresco del sistema de raíces de <i>Abies religiosa</i>	62
Biomasa en peso seco del sistema de raíces de <i>Abies religiosa</i>	64
Temperatura y humedad edáfica	66
Temperatura y humedad ambiental	68
11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	71
CONCLUSIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	77

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Figura 1. Estructuras reproductoras de <i>Abies religiosa</i> .	6
Figura 2. Distribución geográfica nacional de <i>Abies religiosa</i> .	8
Figura 3. Incendio subterráneo en el bosque de <i>Pseudotsuga menziesii</i>	23
Figura 4. Incendio superficial prescrito	23
Figura 5. Incendio de copa, en el Parque Nacional de Yellowstone	23
Figura 6. Localización geográfica del Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	32
Figura 7. Ubicación de los sitios de muestreo, en el bosque de <i>Abies religiosa</i>	36
Figura 8. Clasificación de los sitios de muestreo, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	37
Figura 9. Caracterización de micrositios	39
Figura 10. Diagrama metodológico para la evaluación de la regeneración natural de <i>Abies religiosa</i> .	41
Cuadro 1. Sobrevivencia (# de individuos) del arbolado adulto y juvenil en pie de las zonas de muestreo, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	42
Figura 11. Densidad de semillas de <i>Abies religiosa</i> en zonas post-incendio en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	43
Cuadro 2. Significancia estadística para la densidad de semillas en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).	44
Figura 12. Densidad de plántulas recién emergidas de <i>Abies religiosa</i> en zonas post-incendio en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	45
Cuadro 3. Significancia estadística para la densidad de plántulas recién emergidas en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).	46
Figura 13. Plántulas recién emergidas de <i>Abies religiosa</i> sobre musgo y hojarasca en el bosque no afectado por incendio	47
Figura 14. Plántulas recién emergidas y brinzales de cuatro años de <i>Abies religiosa</i> sobre suelo desnudo, en el bosque afectado por incendio superficial.	47
Figura 15. Densidad de brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, en zonas post-incendio en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	48
Cuadro 4. Significancia estadística para la densidad de brinzales de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).	49

Figura 16. Densidad de de brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad en el bosque afectado por incendio de copa moderado	50
Figura 17. Brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, en el bosque afectado por incendio de copa severo	51
Figura 18. Altura de de brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	52
Cuadro 5. Significancia estadística para la altura de brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).	53
Figura 19. Crecimiento en cobertura de brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	54
Cuadro 6. Significancia estadística para la cobertura en brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).	
Figura 20. Crecimiento en altura y cobertura en plántulas de <i>Abies religiosa</i> , en las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	55
Figura 21. Crecimiento del sistema radical de brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	56
Cuadro 7. Significancia estadística para el desarrollo del sistema de raíces en brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).	57
Figura 22. Biomasa en peso fresco del follaje de brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, de las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico".	58
Cuadro 8. Significancia estadística para el peso fresco del follaje de brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).	59
Figura 23. Biomasa en peso seco del follaje de brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, de las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	60
Cuadro 9. Significancia estadística para el peso seco del follaje de brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).	61

Figura 24. Biomasa en peso fresco del sistema de raíces de brinzales <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, de las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	64
Cuadro 10. Significancia estadística para el peso fresco del sistema de raíces de brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).	63
Figura 25. Biomasa en peso seco del sistema de raíces de brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, de las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	64
Cuadro 11. Significancia estadística para el peso seco del sistema de raíces de brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).	65
Figura 26. Variación estacional de la temperatura y humedad edáfica, en zonas post-incendio del bosque de <i>Abies religiosa</i> ; en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	66
Figura 27. Variación estacional de la temperatura y humedad ambiental, en zonas post-incendio del bosque de <i>Abies religiosa</i> ; en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.	68
Cuadro 12. Significancia estadística para el efecto de la temperatura y humedad sobre el desarrollo de brinzales de <i>Abies religiosa</i> de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).	70

RESUMEN

Durante 1998, en México, la ocurrencia de incendios forestales afectó a 91 478 ha, de las cuales 24 367 ha correspondieron a las Áreas Naturales Protegidas. En el Parque Nacional "El Chico", en el estado de Hidalgo, parte del bosque de *Abies religiosa* fue afectado por incendios de diferente intensidad, por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de los incendios sobre la regeneración natural de *Abies religiosa* y su relación con las variables microambientales, en cuatro condiciones post-incendio: 1) zona de bosque no afectado por incendio, 2) zona de bosque afectado por incendio superficial, 3) zona de bosque afectado por incendio de copa moderado, 4) zona de bosque afectado por incendio de copa severo.

En cada zona, se trazaron 30 cuadrantes de 1 m², en los que se cuantificó el número de semillas presentes, número de plántulas recién emergidas y el número de brinzales de *A. religiosa* de cuatro años de edad, de las cuales se colectó una plántula por cuadrante para determinar su peso seco. A su vez, se registró la altura, cobertura y longitud del sistema radical. Se midió la temperatura y humedad ambiental y edáfica.

Los resultados mostraron que la regeneración natural dentro de la zona de bosque no afectado por incendio es nula. En la zona de bosque afectado por incendio superficial, las plántulas presentan crecimiento reducido. En contraste, la mayor regeneración de *A. religiosa* fue en la zona de bosque afectado por incendio de copa, de los cuales, el de intensidad moderado favorece la regeneración natural de la especie, pues el desarrollo de las plántulas es mayor, tanto en altura, cobertura, longitud radical como en biomasa (peso seco).

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques de coníferas actualmente están representados en México por diez géneros, sin embargo, desde el punto de vista económico, los más importantes son *Pinus*, *Abies*, *Cupressus* y *Juniperus* (Rzedowski, *et al.*, 1977), de las cuales, las especies del género *Abies*, junto con las de *Pinus* y *Quercus*, las que constituyen los principales componentes de los bosques de coníferas y bosques templados mixtos del país (Ángeles, 1998).

En conjunto, los bosques de coníferas ocupan cerca del 10.5 % del territorio nacional y más del 90 % de esta superficie corresponde a la de *Pinus* o *Pinus-Quercus*, seguidos por los bosques de *Juniperus* y los bosques de *Abies*; este último, ocupa sólo el 0.16 % de la superficie total del país (Rzedowski, 1978).

Los bosques de *Abies* son considerados típicamente como comunidades climax, donde con frecuencia es una de las especies arbóreas de mayor abundancia-dominancia (Rzedowski, *et al.*, 1977). Sin embargo, han presentado una reducción de su extensión debido a diversos factores de perturbación, como son la tala (SARH, 1992), plagas y enfermedades (Manzanilla, 1976; Rodríguez, 1983; INIFAP, 1988; Alvarado 1988, Aguilar, 1988; Castro, 1997), contaminación atmosférica (Ferrel y Miller, 1984; Challenger, 1998) y recientemente, los incendios forestales (SEMARNAP, 1998).

Existe la controversia acerca de los efectos benéficos o dañinos que pudiera tener el fuego sobre el ecosistema, para permitir o no el establecimiento de las especies vegetales. La respuesta del género *Abies* ante las condiciones posteriores a un incendio, depende de cada especie. En incendios superficiales, tanto las plántulas como el arbolado joven de *A. balsamea* muere y su reestablecimiento en áreas quemadas demora de 30 a 50 años (Uchytíl, 1991).

Para *A. amabilis*, ya que los cambios bruscos de temperatura en áreas quemadas impiden su establecimiento (Cope, 1992), mientras que *A. lasiocarpa* muere fácilmente debido a la susceptibilidad de sus raíces al calentamiento del suelo, pero se establece rápidamente en las zonas afectadas (Uchytíl, 1991). *A. procera*, *A. magnifica* y *A. grandis* se regeneran en zonas afectadas por incendios superficiales y moderados, pues el fuego provee una cama semillera favorable para la germinación y el establecimiento de las plántulas, colonizando rápidamente las áreas abiertas por el fuego (Cope, 1993; Howard, 2000). Finalmente, *A. bracteata* es capaz de establecerse 10 meses después de un incendio severo, sin embargo; el ataque por insectos produjo mayor mortandad del arbolado, que el propio incendio (Sullivan, 1993).

A nivel nacional, para *A. religiosa* no se han encontrado antecedentes al respecto y las investigaciones acerca de incendios están enfocadas a algunas especies del género *Pinus*. Por tal razón, existe la necesidad de estudiar los efectos del fuego sobre el bosque de *A. religiosa*, enfocado a la regeneración natural de esta especie, bajo distintos tipos (incendio superficial y de copa) e intensidades (incendio de copa moderado e incendio de copa severo) de incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Aspectos generales de *Abies religiosa* (H.B.K) Schlecht. et Cham.

Descripción botánica

Abies religiosa fue clasificada por primera vez en 1803, por Humboldt y Bonpland, y junto con Kunth, realizaron su descripción en 1817, donde la especie fue clasificada como *Pinus religiosa*. El nombre actual de *Abies religiosa* fue dado por primera vez por Schlechtendahl y Chamizo en 1830 (Martínez, 1963; Bojorges, 1990).

Comúnmente se le nombra como oyamel, romerillo, pinabete o abeto (Garduño, 1944; Miranda y Hernández, 1963; Niembro, 1990). A esta especie le fue designado el nombre específico de "religiosa", debido a la disposición de sus ramillas, en forma de cruz, con hojas lineares, agudas y dispuestas en espiral.

Presenta ramas verticiladas y extendidas que se cortan gradualmente formando una copa piramidal o cónica. Su corteza es áspera y agrietada de color grisáceo. Se le considera una de las pináceas de porte más elegante. Generalmente alcanza una altura de 35 a 45m, por 1 a 1.5m de diámetro.

Manzanilla (1976), reporta que el desarrollo de conos en *Abies religiosa*, se efectúa en un año porque las yemas florales aparecen en diciembre, alcanzando su desarrollo en marzo y abril con su polinización. La maduración es en agosto y septiembre.

La producción de conos masculinos de *Abies religiosa*, es lateral en las ramillas de la parte baja del árbol (Figura 1). Los conos son oblongos y miden de 12 a 13mm de largo por 5mm de ancho y están protegidos por brácteas oscuras. Las anteras son avejigadas y poseen dos sacos con granos de polen que llevan cámaras aéreas (Garduño, 1944). Su color es amarillo pálido.

Los conos femeninos se observan en la misma época en las ramillas más altas, son cilíndricos-oblongos, de aproximadamente 7 cm de largo, con grandes brácteas rojizas de margen blanco, translúcido y con una banda verde longitudinal. En cada bráctea se observa una escama en formación con 2 óvulos (Garduño, 1944, Madrigal, 1967).

Las semillas de esta especie presentan una forma cuneado oblonga, ovoide u oblonga, aguda en la base, comprimida, de 10 a 12mm de largo, provistas de un ala lateral amplia, oblicua, suave, delgada, quebradiza y de color castaño claro, de aproximadamente 14 a 16mm de largo. La testa es de color castaño claro, lisa, lustrosa, provista de vesículas llenas de resina, formadas por dos capas de aproximadamente 0.2 a 0.3 mm de grosor. La capa externa es gruesa y coriácea; la interna es delgada y membranosa.

El embrión es linear, cilíndrico, de color crema y colocado longitudinalmente en el centro de la semilla. Los cotiledones son mucho más cortos que la radícula, la cual está dirigida al micrópilo. La semilla presenta abundante endospermo, haploide, externo, carmoso, resinoso y opaco (Niembro, 1981; McVaugh, 1992).

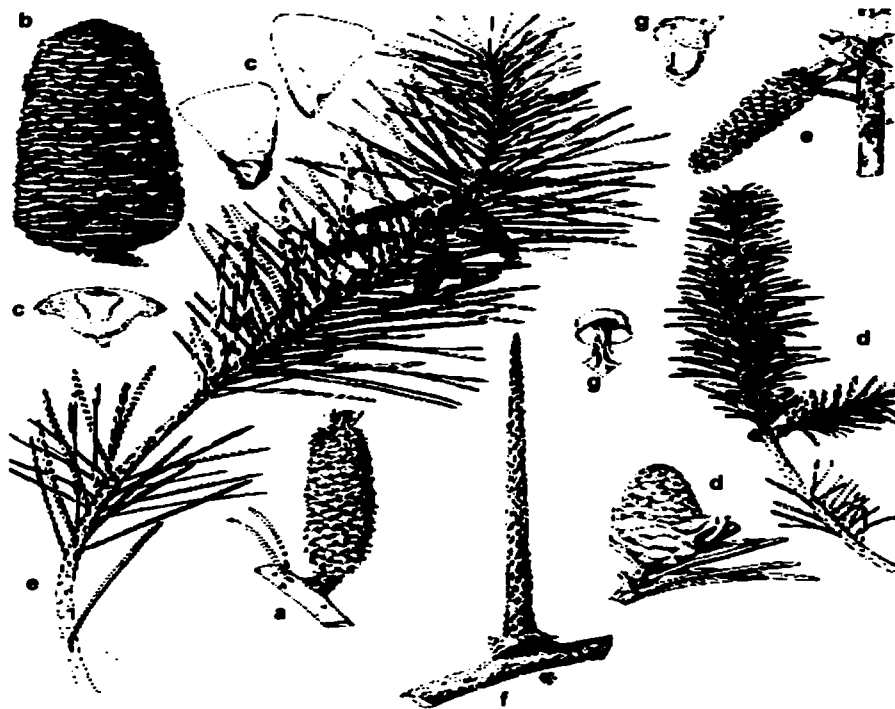


Figura 1. Estructuras reproductoras de *Abies religiosa*. a) cono femenino inmaduro con sus prominentes brácteas, b) cono femenino maduro c) semillas, d) cono masculino inmaduro, e) cono masculino maduro, f) eje persistente del cono masculino maduro, g) microsporofito (McVaugh, 1992).

Distribución de los Bosques de *Abies religiosa*

Los bosques de *Abies* están confinados a sitios de alta montaña, por lo común entre los límites altitudinales de 2 400 a 3 600 msnm, pues entre estas cotas se localiza más o menos el 95 % de la superficie que ocupa; a menudo en laderas de cerros, protegidos de vientos fuertes y de insolación intensa. También se hallan entre cañadas o barrancas que ofrecen un microclima especial (Challenger, 1998).

Los bosques mexicanos en los que predomina el género *Abies*, se desarrollan en las laderas protegidas de las montañas que rodean a la cuenca de México, especialmente los volcanes Popocatepetl, Iztlacihuatl y Ajusco; y en volcanes de gran altura del Eje Neovolcánico Transversal, como el Pico de Tancitaro, Michoacán; el Nevado de Colima en Jalisco y Colima, el Pico de Orizaba y el Cofre del Perote en Veracruz; el Nevado de Toluca en el Estado de México, etcétera ((Rzedowski, *et al.*, 1977). Existen otras áreas como son Morelos, Tlaxcala, Puebla, el cerro Teotepac, Guerrero; la Sierra de Miahuatlán y la Sierra Norte de Oaxaca y en el volcán Tacaná en Chiapas (Figura 2), ya sea como fragmentos aislados dentro de extensas áreas de bosque de pino y encino o como franjas más anchas en las laderas de barlovento donde la precipitación pluvial y la humedad atmosférica alta permiten su desarrollo (McVaugh, 1992; Challenger, 1998).

En el Eje Neovolcánico Transversal, el bosque de oyamel se encuentra en su condición climax, formando tanto masas puras como mezcladas, sobre todo en asociación con *Pinus montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. hartwegii*, *P. ayacahuite* var. *veitchii*, *Juniperus monticola*, *Alnus glabrata*, *A. firmifolia*, *Arbutus xalapensis* y diferentes especies de *Quercus*. Otra especie que se intercala es *Pseudotsuga*, como ocurre en la Sierra Tlaxco, en los límites de Puebla y Tlaxcala (Rzedowski, *et al.*, 1977).

Clima, geología y suelo de los bosques de *A. religiosa*

Los bosques de *Abies* de México carecen de estaciones fría y calurosa bien definidas, presentando una estación seca bien diferenciada de cuatro meses. Asimismo, crecen dentro de una amplia gama de temperatura media anual (7 °C y 15-20 °C), con intensas oscilaciones diurnas de temperatura (promedio anual de 11 °C a 16 °C), siendo rara la existencia de nevadas (Rzedowski, 1978).

Manzanilla (1976) y Rzedowski (1978) mencionan que los bosques de *Abies* requieren condiciones de elevada humedad (superiores a 1000 mm), siendo la forma más frecuente la lluvia, aunque también se presentan las granizadas (ocurren de abril a septiembre) y el rocío (septiembre-noviembre). A causa de la inadaptabilidad del oyamel a la marcada sequía estacional (no toleran más de cuatro meses sin lluvia) tan común en varias regiones montañosas de México, los árboles están sujetos a pérdidas prolongadas de humedad y generalmente experimentan una disminución de crecimiento en altura y diámetro, en el año siguiente (Enminghan, 1977; citado por Castro, 1997).

De esta forma, la consecuencia más notable de esta variación climática es la que se manifiesta a través del comportamiento fenológico de la comunidad, pues los bosques de *Abies* en México, permanecen fotosintéticamente activos casi todo el año; si acaso, estos procesos se modifican durante los periodos más fríos y secos (Rzedowski, 1978).

Los bosques de oyamel se encuentran sobre suelos jóvenes, cuyo material de formación está compuesto de rocas eruptivas jóvenes del tipo andesita, basalto o riolita. Se trata de esodosoles o inceptisoles. Poseen dos (A, B) o tres (A, B, C) horizontes. El color de los perfiles corresponde a los diferentes tonos de 10 YR de la tabla de Munsell. Los horizontes inferiores tienen tonos de color más claros, de café 7/4 hasta café amarillento 5/8, que los horizontes superiores (4/1 a 2/2). La estructura del suelo puede ser granular o en bloques.

Según la textura, se trata de suelos limoso arenosos, arcillo arenosos o arenoso. Los suelos donde se encuentran masas dominantes de oyamel son por lo general, profundos; aunque localmente, se desarrollan sobre lava o una capa delgada de cenizas volcánicas. Las raíces de los árboles penetran a través de las fisuras de las rocas, acelerando los procesos de formación de suelo (Manzanilla, 1976).

Tipos de aprovechamiento

Tradicionalmente las ramas de *Abies religiosa* se emplean en festejos religiosos. Su madera se utiliza como combustible (leña, carbón) y también para la fabricación de cajas, canastas, tablillas para lápices, tablillas para techado (tejamanil) en construcciones rurales, postes y vigas, etcétera (Miranda y Hernández, 1963; Madrigal, 1967).

En la industria del papel, se le considera una especie maderable, principalmente por su rápido crecimiento, por que su madera carece de resina y contiene hasta un 75 % de celulosa, lo cual facilita la elaboración de pulpa para papel (Ortega, 1962).

La industria de barnices y pinturas, emplea la trementina (o aceite de palo) colectada del tronco de individuos jóvenes, como agente aromatizante de jabones, desinfectantes, detergentes, perfumes y como bálsamo con fines medicinales (Niembro, 1990).

En temporada decembrina, se comercializa como árbol de Navidad u otros adornos navideños. Además, los bosques de oyamel son valorados como un recurso natural para actividades ecoturísticas (Madrigal, 1967; Rzedowski, 1978).

**FALTA
PAGINA**

8

Clima, geología y suelo de los bosques de *A. religiosa*

Los bosques de *Abies* de México carecen de estaciones fría y calurosa bien definidas, presentando una estación seca bien diferenciada de cuatro meses. Asimismo, crecen dentro de una amplia gama de temperatura media anual (7 °C y 15-20 °C), con intensas oscilaciones diurnas de temperatura (promedio anual de 11 °C a 16 °C), siendo rara la existencia de nevadas (Rzedowski, 1978).

Manzanilla (1976) y Rzedowski (1978) mencionan que los bosques de *Abies* requieren condiciones de elevada humedad (superiores a 1000 mm), siendo la forma más frecuente la lluvia, aunque también se presentan las granizadas (ocurren de abril a septiembre) y el rocío (septiembre-noviembre). A causa de la inadaptabilidad del oyamel a la marcada sequía estacional (no toleran más de cuatro meses sin lluvia) tan común en varias regiones montañosas de México, los árboles están sujetos a pérdidas prolongadas de humedad y generalmente experimentan una disminución de crecimiento en altura y diámetro, en el año siguiente (Enminghan, 1977; citado por Castro, 1997).

De esta forma, la consecuencia más notable de esta variación climática es la que se manifiesta a través del comportamiento fenológico de la comunidad, pues los bosques de *Abies* en México, permanecen fotosintéticamente activos casi todo el año; si acaso, estos procesos se modifican durante los periodos más fríos y secos (Rzedowski, 1978).

Los bosques de oyamel se encuentran sobre suelos jóvenes, cuyo material de formación está compuesto de rocas eruptivas jóvenes del tipo andesita, basalto o riolita. Se trata de espodosoles o inceptisoles. Poseen dos (A, B) o tres (A, B, C) horizontes. El color de los perfiles corresponde a los diferentes tonos de 10 YR de la tabla de Munsell. Los horizontes inferiores tienen tonos de color más claros, de café 7/4 hasta café amarillento 5/8, que los horizontes superiores (4/1 a 2/2). La estructura del suelo puede ser granular o en bloques.

Según la textura, se trata de suelos limoso arenosos, arcillo arenosos o arenoso. Los suelos donde se encuentran masas dominantes de oyamel son por lo general, profundos; aunque localmente, se desarrollan sobre lava o una capa delgada de cenizas volcánicas. Las raíces de los árboles penetran a través de las fisuras de las rocas, acelerando los procesos de formación de suelo (Manzanilla, 1976).

Tipos de aprovechamiento

Tradicionalmente las ramas de *Abies religiosa* se emplean en festejos religiosos. Su madera se utiliza como combustible (leña, carbón) y también para la fabricación de cajas, canastas, tablillas para lápices, tablillas para techado (tejamanil) en construcciones rurales, postes y vigas, etcétera (Miranda y Hernández, 1963; Madrigal, 1967).

En la industria del papel, se le considera una especie maderable, principalmente por su rápido crecimiento, por que su madera carece de resina y contiene hasta un 75 % de celulosa, lo cual facilita la elaboración de pulpa para papel (Ortega, 1962).

La industria de barnices y pinturas, emplea la trementina (o aceite de palo) colectada del tronco de individuos jóvenes, como agente aromatizante de jabones, desinfectantes, detergentes, perfumes y como bálsamo con fines medicinales (Niembro, 1990).

En temporada decembrina, se comercializa como árbol de Navidad u otros adornos navideños. Además, los bosques de oyamel son valorados como un recurso natural para actividades ecoturísticas (Madrigal, 1967; Rzedowski, 1978).

3. Dinámica de la regeneración natural

Concepto

El término regeneración o repoblación (Ortega *et al.*, 1993) hace referencia al proceso que se establece entre la sustitución de una masa arbórea por una nueva población, garantizando así, su perpetuación (Pieter, 1988, citado por May, 2001). Desde el punto de vista forestal, la regeneración natural es el proceso en el que las plantas del bosque son substituidas en forma natural por otras, ya sea de la misma o diferente especie (Zavala, 1997).

Sosa y Puig (1987, citado por Zavala, 1997) definen a la regeneración, como una dimensión del nicho ecológico de una especie y a través de ésta, se puede obtener información acerca de la forma en que diferentes especies permanecen juntas en los bosques, de tal manera que la composición, continuidad y permanencia de éstas, dependen de un lapso denominado "periodo de regeneración"(Ortega, *et al.*, 1993 y Zavala, 1997).

Etapas de la regeneración natural

En masas forestales, el proceso de regeneración natural comprende las siguientes etapas:

- Al arbolado adulto, que después de haber transitado por una estabilidad productiva, llega a un periodo de senectud, debilitándose paulatinamente al ser susceptible al ataque de plagas y enfermedades, hasta que finalmente, se presenta su muerte. De esta forma, el espacio abierto constituye un recurso para el establecimiento de nuevos individuos.
- La producción de semillas (desarrollo de conos, producción, dispersión y germinación) del arbolado adulto,
- El paso de los brinzales (crecimiento y establecimiento de las plántulas), siendo esta última, la etapa más crítica del arbolado, ya que el renuevo está compitiendo por luz, nutrimentos y por espacio de crecimiento con la vegetación herbácea y brinzales vecinos, hasta adaptarse a las condiciones ambientales del lugar (Islas, 1987; Ortega, *et al.*, 1993).

Entre los factores que influyen en la regeneración natural, están las de tipo climático, las condiciones del sitio, la vegetación herbácea (Islas, 1987), así como la presencia de microorganismos nocivos y algunos animales como roedores y aves. Ello, además de las condiciones topográficas, la exposición a la luz y la altura sobre el nivel del mar, hace que la viabilidad de la regeneración encuentre serias restricciones (May, 2001).

4. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA REGENERACIÓN NATURAL

Producción de semillas

Para lograr una regeneración adecuada el factor más importante es la producción de semillas, ya que posibilita el proceso de la regeneración del área en cuestión (May, 2001). Ello debe ocurrir en el tiempo adecuado y el aporte en cantidades suficientes.

Considerando que las etapas con mayor riesgo de mortandad de las semillas es después de su dispersión y recién hayan germinado, se estima que de la producción total de semillas (100 %); los insectos destruyen el 60 %, los roedores y otro tipo de animales eliminan aproximadamente el 10 % y el 8 % corresponde a daños por factores climáticos, un 6 % por enfermedades y un 10 % lo constituyen las semillas no viables, quedando sólo un 6 % de semillas con capacidad de germinar en las condiciones adecuadas; de las cuales, el 4 % muere después de germinar y únicamente el 2 % de ellas tienen la posibilidad de establecerse (Kozłowski, 1986; Niembro, 1979).

La producción de semillas en las especies del género *Abies*, varía según la edad. Así, *A. magnifica* inicia la producción de semillas a los 30 años, con intervalos de 2 a 6 años de buena producción. La dispersión es por el viento, a una distancia de 1 a 1.5 m del árbol progenitor, mientras que el porcentaje de germinación es sólo del 30 al 43 %. Por su parte, *A. balsamea* produce semillas a los 20 años de edad, con una alta producción a intervalos de 2 a 4 años. Las semillas son dispersadas por el viento, aproximadamente de 25 a 60 m del árbol padre, incluso llegan a viajar hasta 160 m. La capacidad de germinación es del 20 al 50 %. La producción de conos en *A. grandis* es de los 20 a los 50 años de edad. En un buen año, produce hasta 40 conos con 200 semillas aproximadamente, lo que resulta en 31 600 semillas por hectárea. Con respecto a *A. amabilis*, la

producción de semillas es de los 20 a los 30 años, con intervalos de buena producción de 6 años y un porcentaje de germinación de 6.3 a 35 %. En *A. lasiocarpa*, la producción es a los 20 años de edad, con una altura de solo 1.2-1.5 m debido a su lento crecimiento.

Para *A. procera*, la producción de semillas es después de los 25 años, con un intervalo de buena producción está entre los 3 a 5 años con 76 700 kg/ha. Cesa casi por completo de los 35 a 50 años. La mayor producción es cada 3 a 5 años y la dispersión por viento es a 367 m del árbol progenitor. Finalmente, la producción de semillas en *A. concolor* inicia a los 40 años y continúa después de los 300 años, con intervalos de entre 3 a 5 años de buena producción, la cual llega a ser de 15 000 000 semillas/ha en sitios donde no es la especie dominante.

Las especies del género *Abies*, no forman banco de semillas, pues éstas son capaces de germinar inmediatamente después de la dispersión y entran directamente activas al proceso de regeneración natural (Spurr y Barnes, 1980), de tal manera que desde el punto de vista silvícola, en la mayoría de los casos, no se puede depender de la semilla almacenada en el piso forestal para lograr la regeneración natural, pues aquellas que han permanecido en él por más de un año, después de haber sido dispersadas, pierden su viabilidad notablemente (Velázquez y Musálem, 1986).

De ahí que la presencia o ausencia y por ende, la densidad de la población de plántulas, depende en primer término, de la producción de semilla, de la pequeña fracción que germina y emerge para dar plántulas, además de la frecuencia con que se presenten sitios seguros ofrecidos por el ambiente (micrositio), que proveen las condiciones requeridas para su sobrevivencia y establecimiento (Harper, 1977; Franco, 1993).

Humedad y temperatura edáfica

La humedad y la temperatura combinadas con el tipo de suelo, son los factores que más frecuentemente influyen en el establecimiento de la regeneración. Se sabe que las semillas de las coníferas al ser liberadas por el cono, contienen alrededor del 10 % de humedad y para germinar requieren por lo menos del 45 % (May, 2001).

Las altas temperaturas del suelo tiene un efecto marcado sobre la germinación de *Abies bracteata*, pues las plántulas son sensibles a la sequía. En 1974, en los bosques de California, el desecamiento repetido y las altas temperaturas de la superficie del suelo, fueron responsables de la ausencia en la germinación de semillas de *A. bracteata*, a pesar de haber ocurrido una buena producción de éstas. Durante esta temporada, la sequía produjo la muerte de plántulas de un año de edad exceptuando aquellas que se localizaban cerca de la costa y en áreas quemadas durante un incendio ocurrido en 1970 (Velázquez, 1984; Sullivan, 1993).

Dosel

Los factores de humedad, luz y sustrato son influenciados por el dosel e intervienen en el proceso de germinación, de manera que el porcentaje de sobrevivencia de las plántulas en espacios abiertos y bajo las copas de los árboles, se atribuye a las diferencias de transpiración de las plántulas y en la evaporación del agua del suelo (Roe *et al.*, 1970, citado por Velázquez y Musálem, 1986; Franco, 1993), pues bajo la espesura de la copa de los árboles, disminuye la intensidad y cambia la calidad de la luz, de tal forma que se reduce la tasa de evaporación y se crea una zona de más alta humedad y de temperatura más estable (Ronco, 1970; citado por Velázquez y Musálem, 1986).

De acuerdo con Manzanilla (1976) y López (1993), la regeneración de *Abies religiosa* es favorable en dosel abierto (sitios más iluminados), ya que en el rodal densamente cerrado, la escasez de luz reduce su establecimiento, por lo que para fomentar un buen crecimiento del oyamel, es necesario tomar en cuenta que una vez establecida la plántula, debe abrirse gradualmente el dosel.

Figueroa y Moreno (1993), al realizar un estudio con fines silvícolas, acerca de la estructura y sucesión en poblaciones de *Abies religiosa* en la Sierra de Manantlán, Jalisco, observan que la intolerancia a la sombra de *Pinus pseudostrabus* (rodal establecido después de un incendio ocurrido hace 40 años) favorece el establecimiento de *A. religiosa* así como su dominio en el estrato superior. Sin embargo, a pesar de la existencia de una buena fuente de árboles semilleros, es difícil reestablecer la población de manera natural, ya que la regeneración de especies latifoliadas (*Oreopanax xalapensis*, *Garrya laurifolia*, *Quercus candicans*, *Ternstroema lineata*) es mayor a la regeneración de *A. religiosa* debido a que son mucho más tolerantes a la sombra que ésta. De esta forma, concluyen que en condiciones de dosel abierto, a través de la práctica de preclareos y aclareos, el establecimiento de la plántula de *A. religiosa* será favorecido.

Otras investigaciones muestran que una mayor apertura del dosel, provoca disminución en la germinación de *Abies grandis* y *Abies magnifica*, a su vez que eleva la mortandad de plántulas por el incremento de la temperatura del sustrato y el tiempo de exposición (Seidel 1979; citado por Cetina *et al.*, 1984; Gordon, 1970; citado por González, 1985). Por otra parte, Cope (1993) determinó que el crecimiento inicial de *Abies magnifica* es más denso bajo sombra y a poca profundidad del suelo, sin embargo, cuando las plántulas consiguen establecerse y madurar, el crecimiento es mayor a plena insolación, pues observó que son las plantas herbáceas y los pastos quienes inhiben su crecimiento.

De manera similar, Stark (1965, citado por Cetina *et al.*, 1984) y Gordon (1970; citado por González, 1985). concluyen que la sobrevivencia de *Abies concolor* decrece al incrementar la intensidad de luz, sumado a la profundidad del sustrato, pues el mayor porcentaje de germinación fue en dos condiciones: a media sombra en suelo desnudo y luz directa con sustrato ligero. Sánchez (1991) menciona que a pesar de ser una especie tolerante, sólo se regenera adecuadamente bajo dosel cerrado.

Otra especie tolerante a la sombra es *A. lasiocarpa*, la cual se establece fácilmente bajo dosel cerrado; mientras que *A. bracteata* se establece generalmente mejor en sombra parcial y puede establecerse fácilmente bajo un dosel cerrado en sombra total, pues las plántulas son muy sensibles a la sequedad y a fluctuaciones de temperaturas, principalmente en épocas de escarcha (Uchytíl, 1991; Sullivan, 1993).

Microsttio

Los micrositios poseen características ambientales muy particulares. De manera general, una menor penetración de luz solar al sotobosque y al suelo, promueve una temperatura y humedad edáfica más estable. En cambio, en áreas abiertas ocurre lo contrario, la luz solar directa eleva la temperatura, provocando la disminución en humedad del suelo y la variación en la temperatura diurna.

A grandes rasgos, la heterogeneidad entre micrositios depende de la temperatura y humedad edáfica, tipo de sustrato y sus propiedades físicas y químicas, además del tipo de vegetación existente (Campbell, 1995); de tal manera, que las condiciones que los describen cambian constantemente (Harper, 1977). Por esta razón, se considera que los micrositios determinan las características de la germinación, establecimiento de la plántula y su persistencia, lo cual, posteriormente dará lugar a la densidad, patrón y composición de una población vegetal (Harper, 1977).

La hojarasca en la superficie del suelo es la cama de semillera más común en rodales sin aprovechamiento. En relación con *A. balsamea*, si la humedad es suficiente, las plántulas se establecerán en casi cualquier sustrato, aunque su establecimiento es mayor en suelo mineral. Una adecuada cama semillera incluye madera podrida embebida en humus, ya que puede estar húmedo durante una sequía prolongada; aunque es posible que al introducirse bajo gruesas capas ricas en materia orgánica y humedad, las semillas o plántulas se pudran o sean atacadas por hongos (Pritchett 1986; Islas, 1987; Aguilar *et. al.*, 1992).

En cambio, en un cobertizo de hojas sobre el suelo, las plántulas usualmente mueren, pocas semanas después de haber germinado, pues generalmente estas hojas presentan un acomodo horizontal que funciona como una barrera para la penetración radicular de las semillas al germinar o bien permanecen sobre la superficie y aumenta las posibilidades de mortandad (Uchytíl, 1991).

El suelo mineral desnudo es otro tipo de cama semillera, en las que otras especies son capaces de establecerse, entre las cuales están *A. lasiocarpa* (Uchytíl, 1991) y *A. grandis* (Howard, 2000) e incluso en otras superficies como son la madera podrida.

Finalmente, aunque no especifican bajo qué condiciones, Manzanilla (1976), López (1993), González (1991) y Rivera (1989), concuerdan en que el suelo mineral desnudo representa un lugar idóneo para el establecimiento de *A. religiosa*.

Un caso particular, es el crecimiento radicular de *A. grandis*. En el estadio de plántula, la penetración de la raíz al suelo, es profunda en sitios donde la superficie está expuesta a la luz solar y la temperatura es más estable (bajo dosel semiabierto), lo que le confiere cierta resistencia a la sequía. Sin embargo, en sitios sombreados la penetración es lenta y la sequía es la causa de mayor mortandad de plántulas (Howard, 2000).

Según Anaya (1962, citado por Manzanilla, 1976), para *A. religiosa* las propiedades físicas de los suelos influyen más en su desarrollo, que las propiedades químicas, sobresaliendo la profundidad y humedad del suelo. Madrigal (1967) incluye además de las anteriores, a la textura, el drenaje, la estructura y el contenido de humus.

Plagas y enfermedades

Como plagas del oyamel, se ha reportado a *Arceuthobium abietis-religiosae*, la cual generalmente se implanta en la parte terminal de las ramas y en menor grado, al tronco. El ataque de esta planta hemiparásita limita el crecimiento, produce malformaciones, tumores y raquitismo en los sitios parasitados y aún en todo el árbol, cuando éste es joven (Manzanilla, 1976; Rodríguez, 1983; Castro, 1997).

Existen otros hongos que causan una muerte descendente en *Abies religiosa*, como *Vorticillium sp.*, que causa el marchitamiento del oyamel, mediante la infección por vía radicular. Cuando se observan agujas manchadas con puntos negros y amarillos, se trata de hongos pertenecientes a los géneros *Zygodermis sp.* y *Curvularia sp.* (INIFAP, 1988).

Los descortezadores como *Scolytus mundus* (familia Scolytidae), *Hylurgops flohrii*, *Pseudohylesinus variegatus* y *Evita hyalinariak*, en estadio larvario, se alimentan principalmente del follaje del oyamel en estadio juvenil, provocando en muchos casos, la defoliación total, reduciendo el crecimiento, debilitando al árbol y finalmente, provocando la muerte (Aguilar, 1988; Alvarado, 1988).

Otro tipo de barrenador, es *Apolychrosis ferruginus*, cuyas larvas barrenan el interior de los conos jóvenes de *A. religiosa*, causando la muerte. En conos que continúan creciendo, las larvas hacen un túnel recto a través de las escamas, que va por arriba de la línea de semillas. Esta lesión ocasiona un flujo de resina que al secarse hace que queden adheridas las semillas y las escamas, impidiendo su dispersión. Otra especie que ataca al oyamel, de manera similar a la anterior, es *Dioroctria pinicolella* (Cibrián, 1986).

5. INCENDIOS Y REGENERACIÓN NATURAL

Clasificación de los incendios forestales

De acuerdo al estrato vegetal que afecten, los incendios forestales se han agrupado convencionalmente en tres clases:

Incendios subterráneos

Son incendios que se propagan por debajo de la superficie forestal, alimentados de materia orgánica en proceso de descomposición, raíces y turba (Figura 3). Su desplazamiento es lento por carecer de suficiente oxígeno (O_2) para la combustión, sin embargo, el calor que emana es tan intenso que mata a la mayor parte de las plantas que poseen raíces que crecen sobre la materia orgánica y altera la fertilidad del suelo.

En lugares adyacentes al incendio, las altas temperaturas y el calor producido, seca la materia orgánica húmeda, de manera que se genera más combustible para su propagación y normalmente influyen como fuente de reignición a los incendios superficiales (Suprr, 1980; Cardefia, 1987).

Incendios de superficie.

Este tipo de incendio se caracteriza porque en su inicio y desarrollo, el fuego consume el estrato arbustivo de bajo porte, el estrato herbáceo y la capa litter (hojarasca), dañando tanto las raíces como las bases de los troncos de los árboles (Figura 4). Estos incendios suelen ser los más

frecuentes, ya que al existir falta de humedad en el material combustible, éstos arden con facilidad, resultando muy propicio para la iniciación y propagación de las llamas.

El aire caliente que asciende puede matar al follaje de los árboles. Según Rodríguez (1988), Spurr y Barnes (1980), la sobrevivencia en la mayor parte de las especies está determinada por el daño que se produce al cámbium del tronco y por la susceptibilidad que tengan sus raíces a ser dañadas (principalmente las especies con raíz superficial), siendo los árboles jóvenes los más afectados que los viejos. Los incendios de superficie alimentados por acumulaciones de materia orgánica, además de la influencia del viento, pueden quemar las coronas de los árboles generando así, un incendio de copa (Suprr, 1980; Cardeña, 1987).

Incendios de copa

Este tipo de incendio quema las copas de los árboles (Figura 5), así como parte de la vegetación herbácea. En España, el Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA, 1981) recalca que las coníferas son más susceptibles a los incendios de copa, dada la alta combustibilidad de su follaje y tronco por contener resina.

Estos incendios son los más destructivos para los árboles maderables, la vida silvestre y el suelo, pues la quema de $\frac{3}{4}$ partes de la copa, incrementa la mortandad del arbolado. Por otra parte, el incendio de copa avanza con mayor rapidez y es más abrasador que el incendio de superficie a consecuencia del viento, la diversidad del combustible y los niveles de humedad, los cuales influyen en la temperatura del fuego que se desarrolla dentro de la copa (Cutter, 1991).

En México, los incendios más frecuentes son los superficiales y sólo a consecuencia de un deficiente control, éstos han generado los incendios de copa y subterráneos (Cardeña, 1987).



Figura 3. Incendio subterráneo en el Bosque de *Pseudotsuga menziesii*, en "Lubrench Experimental Forest", Montana, E. U.



Figura 4. Incendio superficial prescrito en el distrito minero de Florida, E. U.



Figura 5. Incendio de copa en el Parque Nacional de Yellowstone, E. U.

Incendios en Bosques Templados

Rzedowski (1978), calcula que cuando menos el 80 % de la superficie ocupada por el bosque de coníferas está sometida a incendios periódicos. El mismo autor describe que el bosque de *Pinus patula* del Estado de México, es una comunidad secundaria cuya existencia se debe, al menos en la mayor parte de su área de distribución, a la intervención humana, pues si bien es cierto que los incendios demasiado frecuentes destruyen los bosques, es indudable que muchos pinares mexicanos deben su existencia y gran superficie actual a la influencia periódica del fuego a nivel de sus estratos inferiores.

Por ejemplo, *P. patula* invade las áreas sin de vegetación, formando una comunidad muy densa que impide el establecimiento de otros elementos arbóreos en sus primeras fases de desarrollo. En cambio, en los bosques maduros de *P. patula*, la regeneración de esta especie es escasa o nula y abundan plantas de *Quercus* que con el tiempo desplazan al pino.

Por su parte, Owen (1984, citado por Rodríguez, 1988), afirma que parte de los más valiosos rodales con bosques maderables en Estados Unidos, se han establecido y mantenido debido al fuego. Tal es el caso de los rodales maduros del abeto Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) del noroeste de dicho país.

6. REGENERACIÓN NATURAL POST-INCENDIO EN EL GÉNERO *Abies*

Abies magnifica

En los bosques de coníferas de Sierra Nevada, California, el dosel de *Pinus contorta* inhibe el establecimiento y crecimiento de *Abies magnifica*, debido a su lento crecimiento inicial. Otro factor que aumenta la mortandad de las plantas cuando han alcanzado una altura aproximada de 30 cm, es el daño a las raíces causada por ardillas y el ramoneo por venados. De esta manera, el fuego juega un papel importante en la relación sucesional de *A. magnifica* y *P. contorta*, quien es eventualmente sustituido, en respuesta a la apertura entre las copas por muerte del arbolado maduro de *Pinus* y algunos individuos de *Abies*.

En esta área, se estima que la frecuencia de incendios, está entre los 10 y 65 años. Los incendios de copa en bosques de *A. magnifica* son poco comunes, extendiéndose lentamente y pocas veces son destructivos ya que el arbolado adulto es resistente al fuego. El riesgo de incendio en bosques puros de *A. magnifica* es menor que en bosques mixtos de coníferas, porque su corteza en estadio adulto, es gruesa y resistente al fuego, de manera que pocos individuos son afectados. En contraste, en estadio de plántula, son fácilmente muertos por incendios de baja intensidad. Cuando el incendio es severo, el arbolado adulto no sobrevive. Los espacios abiertos creados por incendios, permite a la especie a establecerse en el suelo mineral desnudo. El crecimiento inicial de las plántulas es lento, alcanzando tallas de 10 a 15 cm en 2 a 4 años, pero cuando consiguen madurar, el crecimiento es mayor en insolación completa (Cope, 1993).

Abies procera

Otra especie que está limitada en su regeneración por interferencia de la vegetación, es *A. procera*, pues al ser una especie poco tolerante a la sombra, no puede establecerse bajo la cubierta forestal muy estrecha.

En Oregon, algunas plántulas se establecen en sombra parcial, pero paulatinamente son sustituidas por especies más tolerantes, tal como *A. amabilis*. Información específica con respecto al fuego y su relación con la mortalidad de la especie es deficiente, pero en general, los individuos jóvenes mueren por causa de incendios moderados a severos, a pesar de su resistencia al fuego. Después de la destrucción de los árboles en pie, *Abies procera* junto con *Pseudotsuga menziesii*, inician la colonización del área afectada, ya que es capaz de establecerse rápidamente en lugares abiertos o con quema de baja intensidad, en donde la densidad de plántulas fue mayor en comparación con las áreas con quema de intensidad moderada y severa (Cope, 1993).

Abies amabilis

En zonas donde habita *A. amabilis*, los incendios son poco frecuentes, con intervalos de 500 años. Los incendios superficiales que han ocurrido, son de baja intensidad pues algunos individuos no muestran evidencias de quemaduras. Esta especie no puede reestablecerse en suelos quemados, debido a los cambios bruscos de temperatura. Un año después de un incendio en las Montañas Olímpicas, se encontró una gran densidad de plántulas, pero no aparecieron sanas como en otros sitios (Cope, 1992).

Abies bracteata

Por otra parte, en agosto de 1977, un incendio de copa quemó 178 000 ha en las montañas de Santa Lucía, donde *A. bracteata* crece. El incendio fue tan intenso que únicamente sobrevivió el arbolado localizado en terreno rocoso, a orillas del camino. Diez meses después, *A. bracteata* aparece en las zonas quemadas, pues su crecimiento está correlacionado con la cantidad de luz que llega al piso forestal. Sin embargo, las plagas de insectos fueron los que dieron muerte a más árboles que el propio incendio (Sullivan, 1993).

Abies lasiocarpa

A. lasiocarpa es una especie que está sujeta a los incendios de copa (ocurren cada 100 años aproximadamente), pero son más susceptibles a incendios superficiales, debido a la fragilidad de sus raíces al calentamiento del suelo, por la quema de material combustible fino que se ubica bajo su copa. A pesar de que es una de las especies menos resistentes al fuego, se reestablece inmediatamente después del incendio, por vía dispersión de semillas si los árboles maduros sobreviven, ya que el suelo mineral quemado no afecta la germinación y fomenta una mayor densidad de plántulas a consecuencia del rápido crecimiento radicular.

Al norte de Colorado, tres años después de un incendio natural, la densidad de plántulas en áreas quemadas menores a una hectárea, fue de 37 500 plántulas/ha. Sin embargo, el factor que impide su regeneración natural es la profundidad del suelo, pues limita la extensión de las raíces. Otra característica particular de esta especie es su capacidad de prosperar en sitios con disturbio,

sin ningún tipo de vegetación forestal, por medio del trasplante de plántulas de 2 o 3 años de edad, en lugar de la siembra directa de semillas.

A. lasiocarpa se establece bajo la copa de *Pinus contorta*, pero puede ser suprimida por varias décadas (de 50 a 150 años) debido a su lento crecimiento, pues mientras que *Pinus contorta* crece 90 cm en un año posterior al incendio, ésta crece menos de 2.5 cm. En un estudio se determinó que a los 15 años de edad, las plántulas miden 28 cm en lugares inclinados y quemados, en zonas secas e inclinadas, únicamente crecen 25 cm y en sitios húmedos y bajo dosel abierto, desarrollan 15 cm de altura. En condiciones favorables, crecen de 1.2 a 1.5 m en 20 a 40 años. Aunque el establecimiento de las plántulas es favorecido por la sombra, su crecimiento es sólo de 1.2 a 1.8 m a la edad de 35 a 50 años. Otro factor que limita a *A. lasiocarpa* en la colonización del área afectada, es el acelerado crecimiento de especies herbáceas que impiden a las semillas llegar al suelo mineral, aunado a la muerte de plántulas ya establecidas (Uchytíl, 1991).

Abies grandis

Un estudio acerca de la historia de incendios, muestra que *A. grandis* solamente domina en áreas donde se excluye el fuego. *Pinus ponderosa* y *Pseudotsuga menziesii* se mantienen como especies dominantes, gracias a la frecuencia de los incendios superficiales que eliminan a los individuos juveniles de *A. grandis*, pues aquellos que poseen 10.2 cm de diámetro son más susceptibles a morir por fuego directo, al ser expuestas a temperaturas de 49 °C durante 10 minutos.

A. grandis posee una frágil corteza en estadio juvenil, pero al madurar, su grosor es de 5 cm en promedio, lo cual le permite resistir ante incendios superficiales y moderados. Ante incendios de copa severos, no sobrevive porque su follaje es altamente flamable. La regeneración

natural de esta especie es común después del incendio, pues el fuego provee una favorable cama sembrero; pero en suelo mineral desnudo, a pesar de que la germinación fue mayor, la mortandad de las plántulas recién emergidas suele ser alta a causa de las altas temperaturas que alcanza el suelo, comparado con áreas no quemadas (Howard, 2000).

Abies balsamea

En el noroeste de Estados Unidos, *A. balsamea* es la especie menos resistente a los incendios porque son árboles muy resinosos, de corteza fácilmente flamable y un sistema de raíces poco profundo, rara vez penetra los 75 cm. En 1936, ocurrió un incendio que acabó con 10 500 ha y aunque los conos no fueron destruidos, las semillas no pudieron madurar en los árboles muertos, por lo que no estuvieron disponibles para repoblar el área quemada. De esta manera, aún después de 30 años, la disponibilidad de semillas limitó el establecimiento de *A. balsamea* en áreas post-incendio.

Otra característica de la especie es el grosor de su corteza (menor a 1.2 cm), considerada una especie de poco valor económico, por lo que el fuego prescrito es empleado como un método silvícola para convertir a los bosques de dicha especie, a otras especies comerciales, como *Picea mariana*. En Ontario, fueron consumidos el 55 % del arbolado de 7 a 13 cm de diámetro, siendo suficiente un incendio superficial para eliminar plántulas y arbolado joven. A causa de su lentitud para reestablecerse, rara vez funge como pionero post-incendio, pues puede estar ausente los primeros 30 a 50 años (Uchytel, 1991).

De lo anterior, se derivan las siguientes interrogantes:

¿En qué tipo de incendio se presenta la mayor regeneración natural de *Abies religiosa*?

¿Qué condiciones post-incendio (micrositio y ambientales) promueven la regeneración natural y el desarrollo de los brinzales del oyamel?

7. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.

HIPÓTESIS

Con base a la revisión de literatura, se propone la siguiente hipótesis:

Los incendios favorecen la regeneración natural de *Abies religiosa*, por lo tanto, la mayor densidad, el mayor desarrollo y biomasa de brinzales será en las zonas post-incendio con respecto a la zona de bosque no afectado.

Objetivo general

Evaluar la densidad de regeneración y desarrollo de brinzales de *Abies religiosa* en zonas post-incendio, del Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

Objetivos particulares

- ◆ Relacionar la densidad de semillas, densidad de plántulas recién emergidas y la densidad de brinzales de cuatro años de edad de *A. religiosa*, con respecto al tipo e intensidad de incendio.
- ◆ Determinar la influencia de la temperatura y humedad del suelo, así como la temperatura y humedad ambiental sobre el desarrollo en altura, cobertura y biomasa de brinzales de *A. religiosa*.
- ◆ Determinar el tipo e intensidad de incendio que favorece la regeneración natural de *A. religiosa*.

8. ZONA DE ESTUDIO: PARQUE NACIONAL "EL CHICO" HIDALGO.

Localización

El Parque Nacional "El Chico", se encuentra en la parte sur del eje neovolcánico en el extremo occidental del sistema orográfico Sierra de Pachuca, perteneciente a la Sierra Madre Oriental (Melo y López, 1993; Ángeles, 1998), dentro del Municipio de Mineral del Chico, entre los meridianos 98° 41'47" y 98° 45' 31" longitud oeste y paralelos 20° 10' 05" y 20° 13'25" latitud norte (Vargas, 1998, citado por Pérez, 2000). El área del Parque Nacional "El Chico" (con una extensión de 2 739 ha) pertenece a la provincia florística de las serranías meridionales de la Región Mesoamericana de Montaña, correspondiente ésta última, al reino holoártico (Rzedowski, 1978). En esta provincia se encuentran seis de los nueve géneros de coníferas presentes en México y se distingue por incluir las elevaciones más altas del país y por el predominio de bosques de encino y pino (Zavala, 1995).

En cuanto a su ubicación política, pertenece al estado de Hidalgo, localizándose al suroeste, muy próximo a la ciudad de Pachuca (aproximadamente a 24km al noreste de ésta). El Parque Nacional "El Chico" está bajo las jurisdicciones municipales del Mineral del Chico, Pachuca y Real del Monte. Al noreste colinda con el pueblo El Puente, al norte con el Ejido de San José Zoquital. En la parte noroeste con los Ejidos de Carboneras, mientras que hacia el suroeste, está la comunidad La Estanzuela y al sur, con la presa Jaramillo y el pueblo El Cerezo y al sureste con el ejido Pueblo Nuevo (Figura 6).

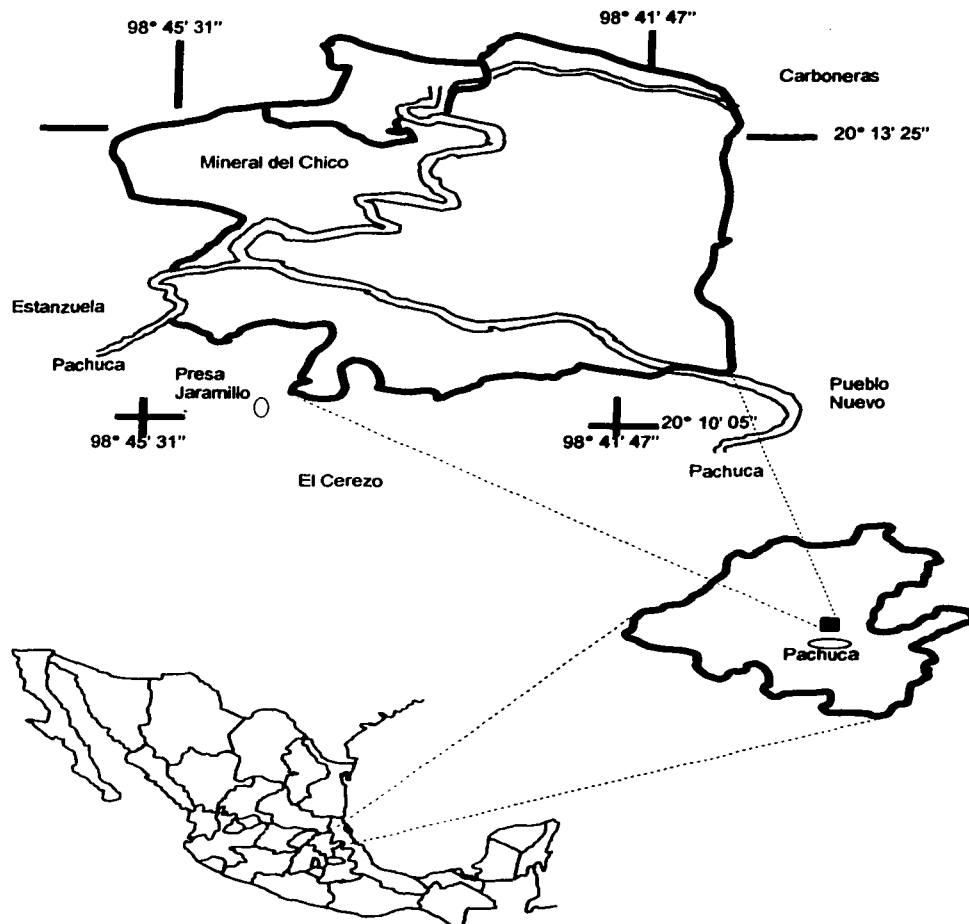


Figura 6. Localización geográfica del Parque Nacional "El Chico", Hidalgo (Galindo, 1988).

Suelo

Las formaciones geológicas de la región derivan de rocas ígneas extrusivas (principalmente del tipo andesita) y materiales sedimentarios cuyas edades datan del Terciario al Reciente (Ángeles, 1998; Vargas, 1998, citado por Pérez, 2000). Debido al origen volcánico del macizo montañoso y a que las condiciones generales de la geomorfología y del clima que favorecen el desarrollo de una vegetación forestal típica del Eje Neovolcánico, los procesos pedogenéticos han dado lugar a una diferenciación de unidades edáficas propias de la región. Entre éstas destacan las siguientes asociaciones: Andosol húmico-Cambisol húmico; Cambisol húmico- Andosol ócrico-Litosol; Pheozem háplico-Cambisol húmico-Regosol eútrico; Andosol vitrico- Cambisol húmico y Pheozem háplico. Los suelos son poco profundos, porosos y bien drenados, presentan horizontes de textura limoso-arenoso, arcillo-arenosos y arenosos (Flores, 1987; Vargas, 1998, citado por Pérez, 2000).

Clima

De acuerdo con el sistema de Köppen, el clima del Parque corresponde a un templado-húmedo C(m)(W)b(i) gW, con precipitación del mes más seco menor a 40mm. Presenta un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10% del total anual, con dos máximos de lluvia separados por estaciones secas, una de larga duración en la mitad del año y otra de corta duración en la mitad de la temporada lluviosa. Las primeras lluvias aparecen generalmente en mayo y se extienden hasta octubre (Madrigal, 1967; Manzanilla, 1976; Hernández, 1979).

Vegetación

El bosque de *Abies* es el principal tipo de vegetación, abarca el 67.7 % de la superficie (1 856 ha) y la parte mejor conservada de este tipo de vegetación se encuentra en la porción centro-oriente del parque, en donde se concentra el mayor número de barrancas. Otras comunidades vegetales son: *Pinus-Quercus*, *Abies-Quercus*, matorral de *Juniperus*, pastizal, bosque de *Quercus*, Bosque de *Cupressus* y *Pinus-Abies* (Zavala, 1995). En el estrato arbustivo del bosque de *Abies* se encuentran, principalmente *Senecio angustifolius*, *Baccharis conferta* y *Juniperus monticola*. En el estrato herbáceo las especies más frecuentes son *Senecio platanifolius*, *Fragaria mexicana*, *Sigesbeckia jorullensis* y *Senecio sorbae*. En las áreas donde el bosque de *Abies* se encuentra aledaño a afloramiento rocosos, pueden encontrarse vegetación xerófila, como son *Echeverria secunda*, *Agave sp.*, *Mamilaria rhodontha* y *Opuntia sp.* (Melo, 1993).

9. DISEÑO METODOLÓGICO

Elección de los sitios de muestro.

El trabajo se desarrolló en el Parque Nacional "El Chico", el cual se ubica en el Estado de Hidalgo, aproximadamente a 24km al noroeste de la ciudad de Pachuca, en el extremo occidental de la Sierra del mismo nombre, perteneciente a la Sierra Madre Oriental (Ángeles, 1998).

Los sitios de muestreo se ubican en el kilómetro 13 de la carretera Pachuca-Mineral del Chico (Figura 7) y según sus características (Cuadro 1), se clasificaron de acuerdo al tipo e intensidad de incendio:

Sitio 1. *Bosque no afectado por incendio* (Figura 8): Zona donde no se observan daños por causa de un incendio, en ningún estrato. Según García (2003), su extensión es de 4 487.5 m².

Sitio 2. *Bosque afectado por incendio superficial* (Figura 8): Zona en la que el estrato rasante y el estrato herbáceo y el 55 % del arbolado juvenil sufrió daños. El fuste del arbolado adulto se quemó a una altura de dos metros. La superficie afectada comprende 8 061.5 m² (García, 2003).

Sitio 3. *Bosque afectado por incendio de copa moderado* (Figura 8): Con una extensión de 4 288 m², en esta zona, parte del arbolado adulto sufrió daños aproximadamente en el 40 % de la copa y parte de la corteza, sin producir su muerte. El estrato rasante, herbáceo y arbolado juvenil fue afectado por incendio, en su totalidad.

Sitio 4. *Bosque afectado por incendio de copa severo* (Figura 8): Zona en la cual, el 100 % del arbolado adulto y juvenil, además del estrato rasante y herbáceo fue afectado por incendio, en su totalidad. El área quemada por este tipo de incendio es de 11 386 m².



Figura 7. Ubicación de los sitios de muestreo, en el bosque de *Abies religiosa* del Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. 1) Bosque no afectado por incendio; 2) Bosque afectado por incendio superficial; 3) Bosque afectado por incendio de copa moderado y 4) Bosque afectado por incendio de copa severo. Tomado de García (2003).

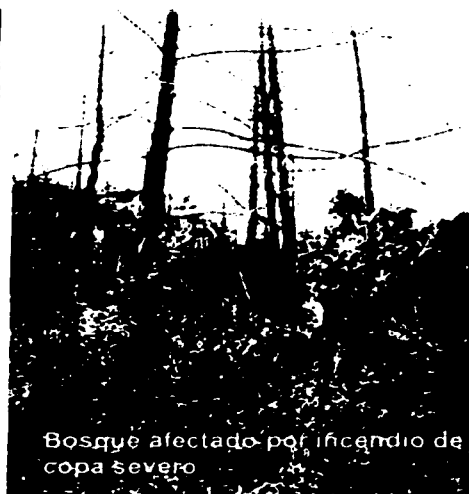
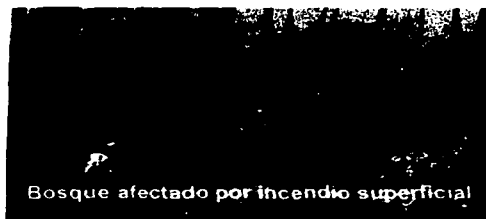


Figura 8. Clasificación de los sitios de muestreo, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

Trazo de cuadrantes y colecta de datos.

Se trazaron 30 cuadrantes de 1m² al azar, por cada una de las zonas delimitadas. En cada cuadrante se cuantificó la cantidad de semillas, el número de plántulas de *Abies religiosa* recién emergidas y el número de brinzales de cuatro años de edad, las cuales corresponden a las plántulas que emergieron después de ocurrido el incendio entre el periodo 1998-2002. Los parámetros registrados de éstas últimas, son altura y cobertura del follaje (como diámetro foliar) con el empleo de un vernier. Asimismo, se hizo la colecta de 1 plántula por cuadrante para la determinación de biomasa, registrando además de la altura y cobertura, la longitud de raíz. El criterio de elección fue el valor promedio de altura y cobertura entre el número de plántulas que se cuantificaban dentro del cuadrante, colectándose aquellas que se aproximaban a ambos valores.

Características del micrositio.

Según los tipos de estrato presentes en el cuadrante y en función de su frecuencia, los micrositios se agruparon con las siguientes claves: 1= estrato rasante, en el que predomina el musgo; 2= suelo desnudo + hojarasca o ramas; 3= estrato herbáceo y 4= estrato arbustivo. El registro de temperatura y humedad fue quincenalmente: la temperatura del suelo se midió a 5 cm de profundidad, con un termómetro para semisólidos marca TELTRO modelo 1014 con vástago de 12 cm; la humedad edáfica por medio de un humidímetro marca KEIWAY SOIL TESTER. La temperatura ambiental y la humedad relativa se tomó al nivel de la superficie del suelo, con un termohigrómetro marca EXTECH serie 21242973 (Figura 9)

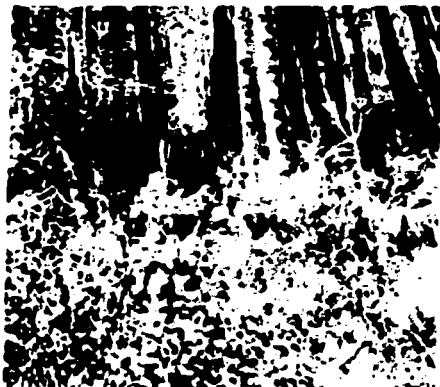


Figura 9. Caracterización de microsítios. 1) estrato rasante, 2) suelo desnudo, 3) estrato herbáceo y 4) estrato arbustivo.

Determinación de biomasa.

Las plántulas colectadas fueron cortadas para separar la parte aérea (tallo-follaje) del sistema radical y se pesó en fresco con una balanza analítica marca OHAUS. Posteriormente se colocaron en bolsas de papel, etiquetadas con sus datos correspondientes (fecha, zona, peso del follaje, altura, cobertura, longitud y peso de la raíz) y se introdujeron en una estufa marca OHAUS a una temperatura de 70 °C por 48 hrs. Una vez secas, cada una de las plántulas fueron nuevamente pesadas para calcular la cantidad de biomasa que lograron acumular después de establecerse en cada sitio de muestreo.

Análisis estadístico.

Los datos de campo y laboratorio fueron analizados con el paquete estadístico SPSS versión 11, con un análisis exploratorio de datos y pruebas de comparación múltiple para contrastar los parámetros propios de la especie (altura, cobertura, longitud radical y biomasa) antes mencionados entre cada una de las zonas de estudio. Asimismo, se efectuó un análisis de correlación y regresión múltiple para obtener la influencia de las variables ambientales y edáficas sobre el desarrollo de *Abies religiosa*.

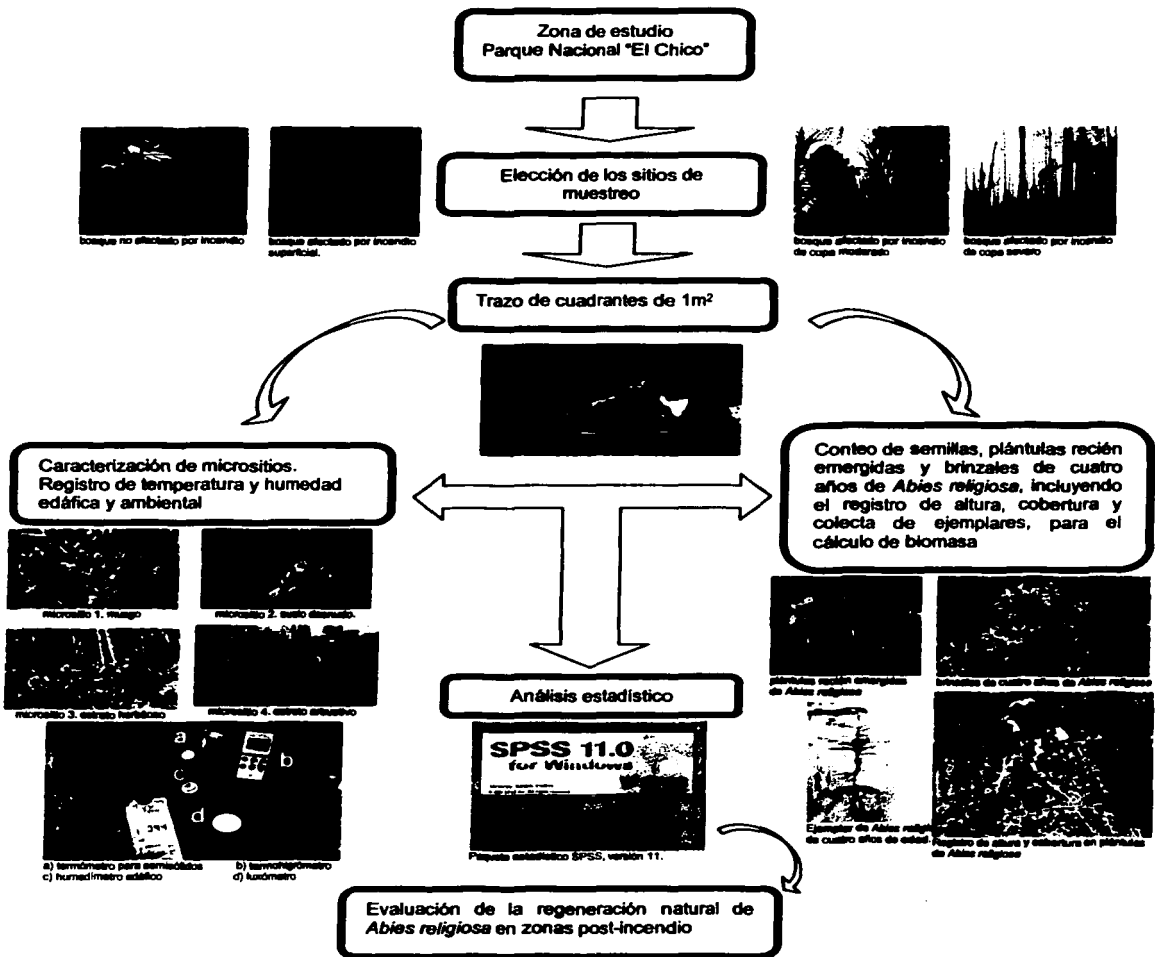


Figura 10. Diagrama metodológico para la evaluación de la regeneración natural de *Abies religiosa*.

10. RESULTADOS

Arbolado adulto en las zonas de post-incendio del bosque de *Abies religiosa*.

	Condición pre-incendio		Condición post-incendio			
	arbolado vivo en pie		arbolado vivo en pie		arbolado muerto en pie	
Sitio de muestreo	adulto	juvenil	adulto	juvenil	adulto	juvenil
Bosque no afectado por incendio	13	127	13	127	0	0
Bosque afectado por incendio superficial	17	129	17	58	0	71
Bosque afectado por incendio de copa moderado	14	70	14	0	0	70
Bosque afectado por incendio de copa severo	13	66	0	0	13	66

Cuadro 1. Supervivencia (# de individuos) del arbolado adulto y juvenil en pie de las zonas de muestreo, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

Según el cuadro 1, En condiciones pre-incendio, el número de arbolado adulto es similar entre la zona de bosque afectado por incendio superficial y de copa moderado-severo, en referencia con la zona de bosque no afectado por incendio. Al ocurrir el incendio, no se presentó mortandad del arbolado adulto en las zonas afectadas por incendio superficial y de copa moderado. En cambio, la mortandad del arbolado adulto, fue total en la zona clasificada como de copa severo.

Densidad de semillas de *Abies religiosa*

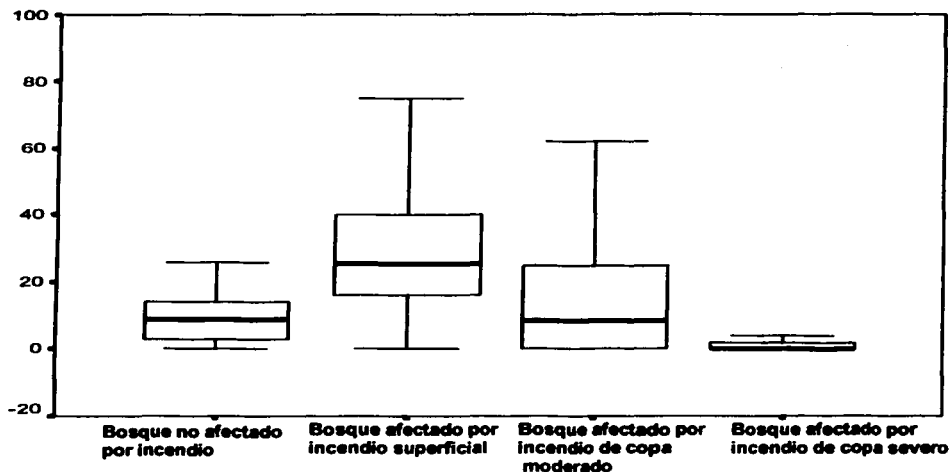


Figura 11. Densidad de semillas de *Abies religiosa* en zonas post-incendio en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

En la Figura 11, se observa que la mayor densidad de semillas se presentó en la zona de bosque afectado por incendio superficial ($\bar{X} = 30.9$ semillas/m²), la cual mostró diferencias significativas (Cuadro 2) con la zona de bosque no afectado ($p < 0.000$), la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado ($p < 0.003$) y de copa severo ($p < 0.000$). Otra diferencia significativa se establece entre las zonas de bosque afectados por incendios de copa ($p < 0.009$), pues la densidad de semillas es mayor en la zona con incendio de copa moderado ($\bar{X} = 16.03$ semillas/m²) que en la zona de bosque afectado por incendio de copa severo ($\bar{X} = 2.56$ semillas/m²).

Cuadro 2. Significancia estadística para la densidad de semillas en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).

zona	Bosque no afectado por incendio	Bosque afectado por incendio superficial	Bosque afectado por incendio de copa moderado	Bosque afectado por incendio de copa severo
Bosque no afectado por incendio		0.000	0.467	0.298
Bosque afectado por incendio superficial	0.000		0.003	0.000
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0.467	0.003		0.009
Bosque afectado por incendio de copa severo	0.298	0.000	0.009	

Densidad de plántulas recién emergidas de *Abies religiosa*.

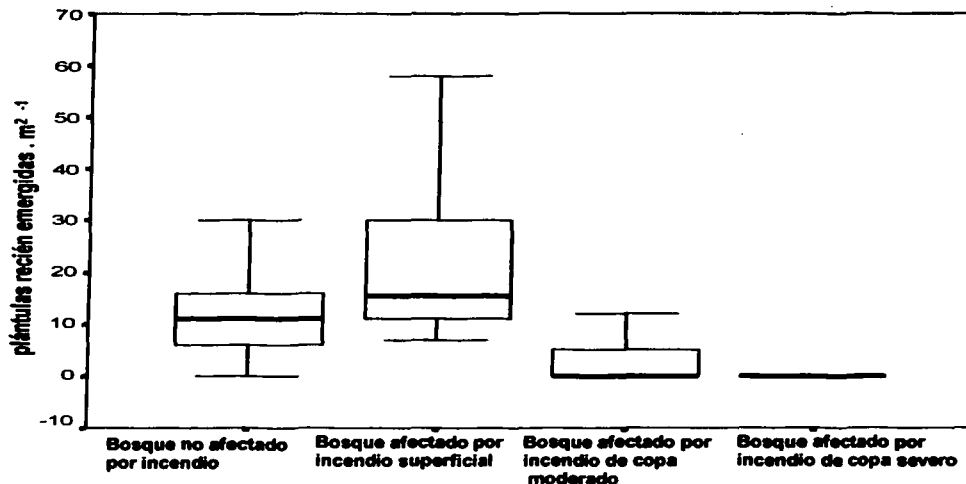


Figura 12. Densidad de plántulas recién emergidas de *Abies religiosa* en zonas post-incendio en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

En la Figura 12 se observa que la zona de bosque afectado por incendio superficial presentó la mayor densidad de plántulas recién emergidas ($\bar{X} = 21$ plántulas/m²), en suelo desnudo (Figura 14a). Para la zona de bosque no afectado por incendio, la densidad de plántulas recién emergidas es de $\bar{X} = 12$ plántulas/m² (Figura 13a), de manera que existe una diferencia significativa ($p < 0.002$) entre ambas zonas. La cantidad de plántulas decrece en las zonas de bosque afectado por incendios de copa. El análisis estadístico indicó que la zona de bosque afectado por incendio superficial y la zona de bosque no afectado por incendio tienen diferencias significativas con las zonas de bosque afectado por incendio de copa ($p < 0.000$), en las cuales, la densidad de plántulas es similar y la diferencia estadística entre ellas, no es significativa ($p < 0.603$) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Significancia estadística para la densidad de plántulas recién emergidas en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).

zona	Bosque no afectado por incendio	Bosque afectado por incendio superficial	Bosque afectado por incendio de copa moderado	Bosque afectado por incendio de copa severo
Bosque no afectado por incendio		0.002	0.001	0.000
Bosque afectado por incendio superficial	0.002		0.000	0.000
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0.001	0.000		0.603
Bosque afectado por incendio de copa severo	0.000	0.000	0.603	

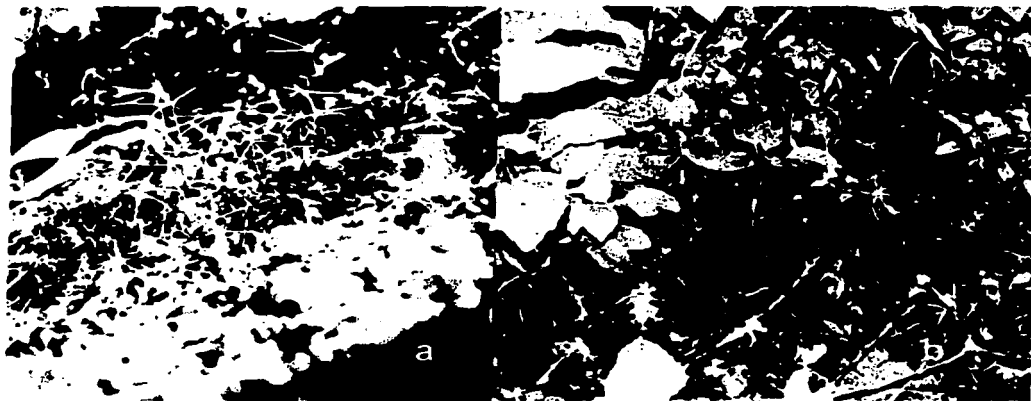


Figura 13. Plántulas recién emergidas de *Abies religiosa* sobre musgo (a) y hojarasca (b) en el bosque no afectado por incendio

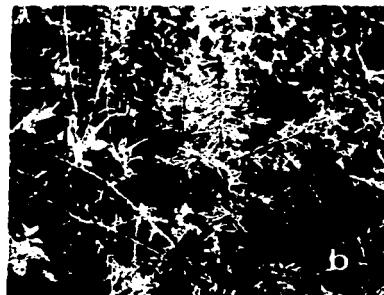


Figura 14. Plántulas recién emergidas (a) y de cuatro años (b) de *Abies religiosa* sobre suelo desnudo, en el bosque afectado por incendio superficial.

Densidad de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años.

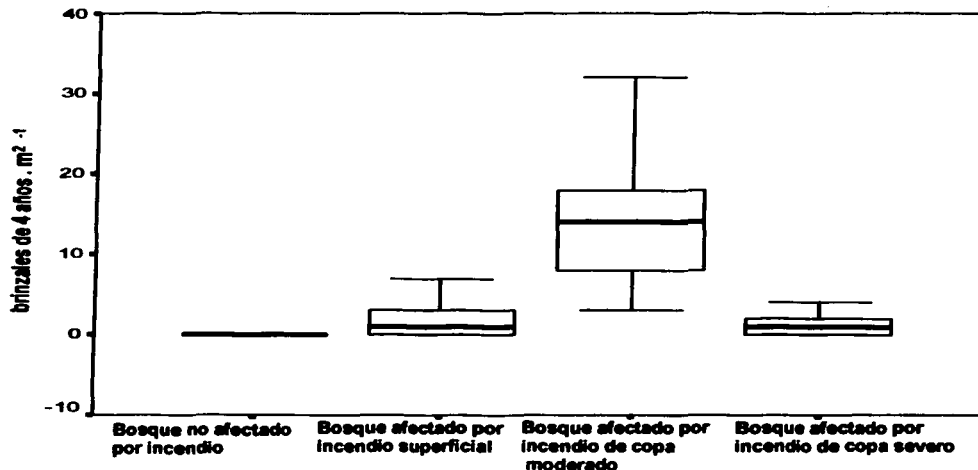


Figura 15. Densidad de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, en zonas post-incendio en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

Los resultados de la Figura 15, indican que en la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado (Figura 16) se estableció una mayor densidad de brinzales de *A. religiosa* ($\bar{X} = 16$ brinzales/m²); por lo que estadísticamente (Cuadro 4) difiere con la zona de bosque no afectado por incendio ($p < 0.000$), la zona de bosque afectado por incendio superficial ($p < 0.003$) y la zona de bosque afectado por incendio de copa severo ($p < 0.000$). Por otra parte, existen similitudes entre la zona de bosque afectado por incendio superficial y la zona de bosque afectado por incendio de copa severo (Figura 17) pues la densidad de brinzales/m² es de $\bar{X} = 2$ brinzales/m². Es importante señalar que no se detectaron brinzales de cuatro años en la zona de bosque no afectado por incendio.

Cuadro 4. Significancia estadística para la densidad de brinzales de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).

zona	Bosque no afectado por incendio	Bosque afectado por incendio superficial	Bosque afectado por incendio de copa moderado	Bosque afectado por incendio de copa severo
Bosque no afectado por incendio		0.371	0.000	0.345
Bosque afectado por incendio superficial	0.371		0.003	1.000
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0.000	0.003		0.000
Bosque afectado por incendio de copa severo	0.345	1.000	0.000	

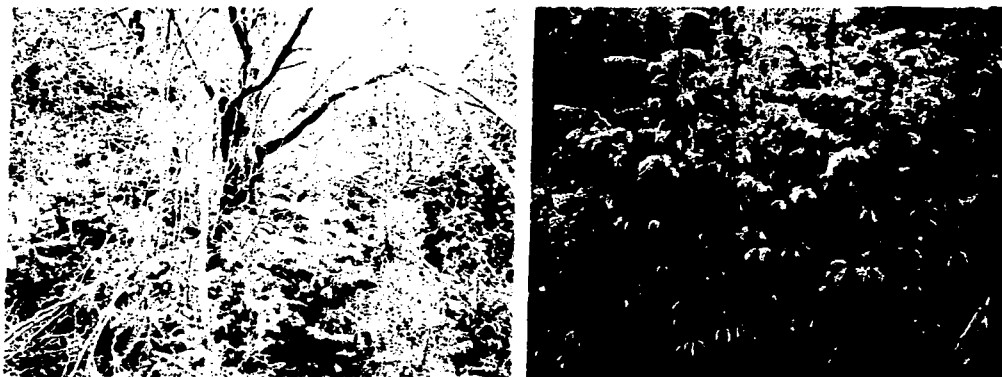


Figura 16. Densidad de de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad en el bosque afectado por incendio de copa moderado

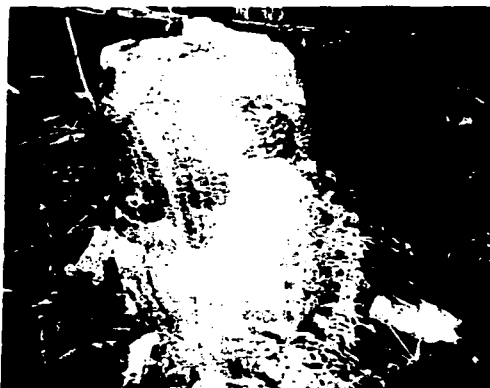


Figura 17. Brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, en el bosque afectado por incendio de copa severo

Altura en brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años

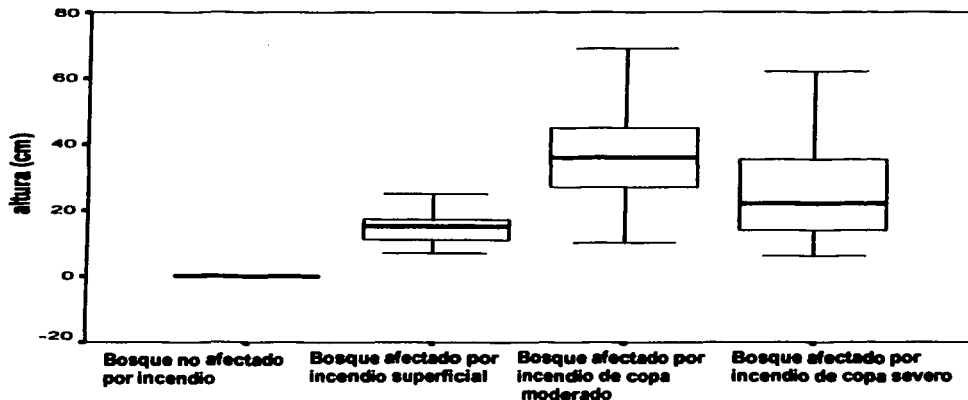


Figura 18. Altura de de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

El crecimiento en altura (Figura 20) de los brinzales de *A. religiosa* establecidos en la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado es $\bar{X} = 36$ cm (Figura 18). La diferencia entre éstas y las plántulas ubicadas dentro de la zona de bosque afectado por incendio de copa severo es de 11 cm, es decir; su crecimiento fue de $\bar{X} = 25$ cm, mientras que las que se desarrollaron en la zona de bosque afectado por incendio superficial, tuvieron $\bar{X} = 14.9$ cm de altura. La diferencia de aproximadamente 10 cm entre los brinzales de cada zona de muestreo, indica que hay diferencias altamente significativas ($p < 0.000$) de una zona con respecto a las otras (Cuadro 5).

Cuadro 5. Significancia estadística para la altura de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).

zona	Bosque no afectado por incendio	Bosque afectado por incendio superficial	Bosque afectado por incendio de copa moderado	Bosque afectado por incendio de copa severo
Bosque no afectado por incendio		0.000	0.000	0.000
Bosque afectado por incendio superficial	0.000		0.000	0.000
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0.000	0.000		0.000
Bosque afectado por incendio de copa severo	0.000	0.000	0.000	

Cobertura en brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años

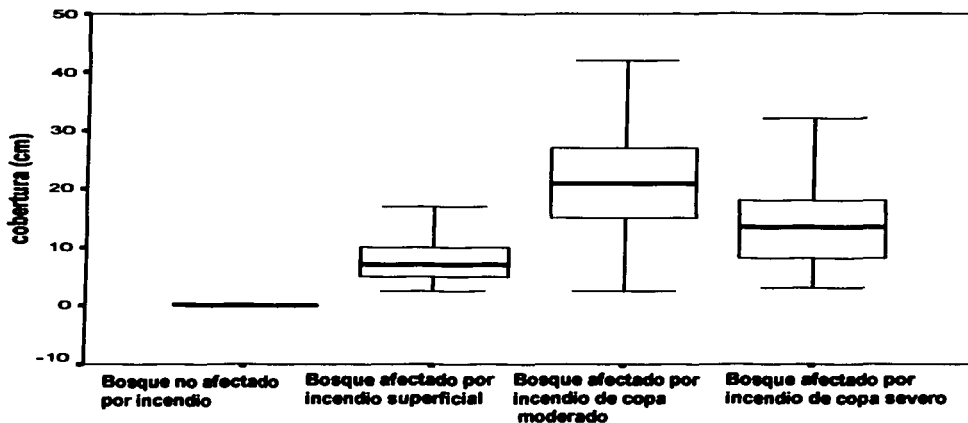


Figura 19. Crecimiento en cobertura de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

Asimismo, la diferencia altamente significativa ($p < 0.000$) en cobertura (Cuadro 6), indica que los brinzales de la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado poseen mayor cobertura ($\bar{X} = 21$ cm), continuando las plántulas de la zona de bosque afectado por incendio de copa severo ($\bar{X} = 13.8$ cm) y la zona de bosque afectado por incendio superficial ($\bar{X} = 7.8$ cm), por lo que estadísticamente, el crecimiento en altura y cobertura entre cada grupo de brinzales es altamente significativo (Figura 20)

En general, las mejores alturas y coberturas correspondieron a los brinzales de las zonas de bosque afectado por incendio de copa moderado y severo e inferior en la zona de bosque afectado por incendio superficial.

Cuadro 6. Significancia estadística para la cobertura en brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).

Zona	Bosque no afectado por incendio	Bosque afectado por incendio superficial	Bosque afectado por incendio de copa moderado	Bosque afectado por incendio de copa severo
Bosque no afectado por incendio		0.000	0.000	0.000
Bosque afectado por incendio superficial	0.000		0.000	0.000
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0.000	0.000		0.000
Bosque afectado por incendio de copa severo	0.000	0.000	0.000	

54

TESIS CONT
FALLA DE ORIGEN

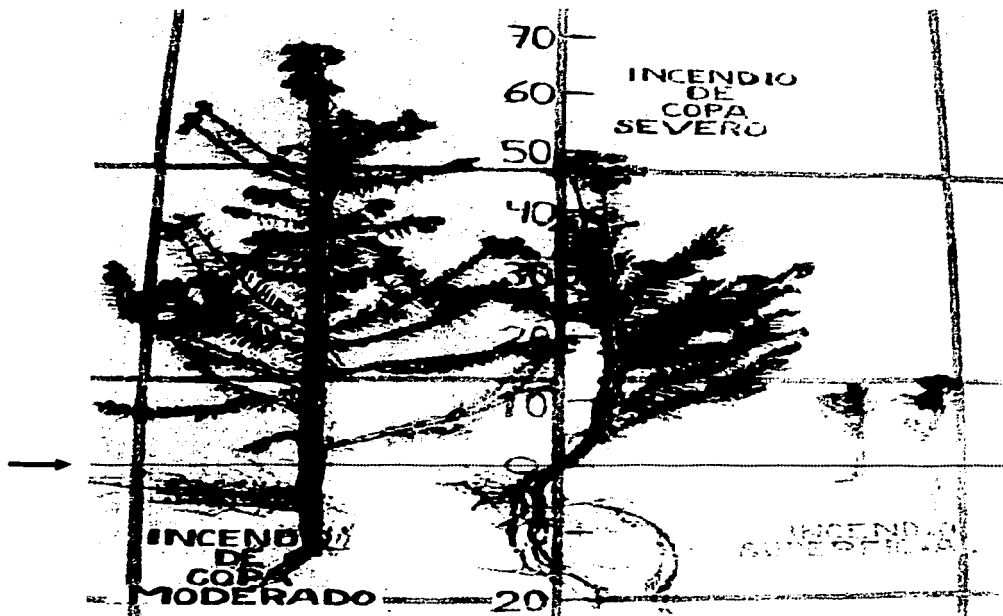


Figura 20. Crecimiento en altura y cobertura en plántulas de *Abies religiosa*, en las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. Nótese la línea punteada (indicada por la flecha) que delimita la longitud radicular de las plántulas.

Desarrollo del sistema de raíces en brinzales de *Abies religiosa*

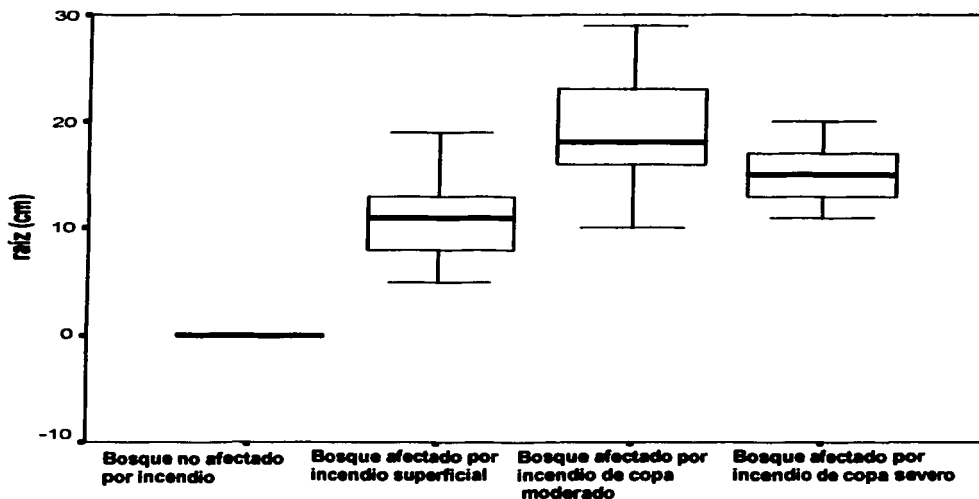


Figura 21. Crecimiento del sistema radical de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

Por otra parte, el análisis estadístico señala que el mejor desarrollo longitudinal del sistema de raíces de los brinzales (Figura 21), fueron aquellos que se localizan en la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado ($\bar{X} = 19.16$ cm) y presentó diferencias significativas ($p < 0.043$) con los brinzales de la zona de bosque afectado por incendio de copa severo ($\bar{X} = 14.20$ cm), así como los de la zona de bosque afectado por incendio superficial ($p < 0.000$) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Significancia estadística para el desarrollo del sistema de raíces en brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).

zona	Bosque no afectado por incendio	Bosque afectado por incendio superficial	Bosque afectado por incendio de copa moderado	Bosque afectado por incendio de copa severo
Bosque no afectado por incendio		0.000	0.000	0.000
Bosque afectado por incendio superficial	0.000		0.000	0.375
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0.000	0.000		0.043
Bosque afectado por incendio de copa severo	0.000	0.375	0.043	

57

TRONCOS CON
 FALLA DE CASCAN

Biomasa en peso fresco del follaje de brinzales de *Abies religiosa*

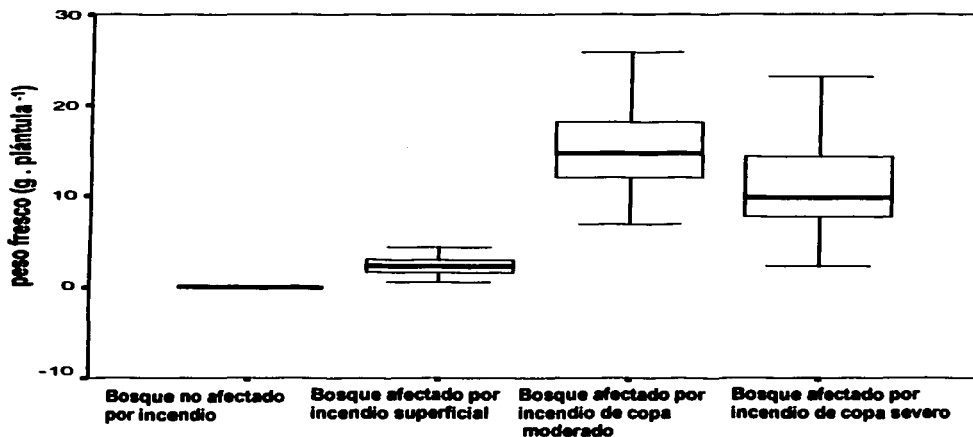


Figura 22. Biomasa en peso fresco del follaje de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, de las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

La Figura 22 ilustra que la mayor biomasa del follaje (peso fresco) fue en los brinzales de la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado fue de $\bar{X} = 16$ g, difiriendo significativamente ($p < 0.000$) con los de la zona de bosque afectado por incendio de copa severo ($\bar{X} = 6.9$ g) y la zona de bosque afectado por incendio superficial (2.3 g y $p < 0.000$). Entre estas dos últimas, existen diferencias significativas ($p < 0.068$) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Significancia estadística para el peso fresco del follaje de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).

zona	Bosque no afectado por incendio	Bosque afectado por incendio superficial	Bosque afectado por incendio de copa moderado	Bosque afectado por incendio de copa severo
Bosque no afectado por incendio		0.079	0.000	0.002
Bosque afectado por incendio superficial	0.079		0.000	0.068
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0.000	0.000		0.000
Bosque afectado por incendio de copa severo	0.002	0.068	0.000	

Biomasa en peso seco del follaje de brinzales de *Abies religiosa*.

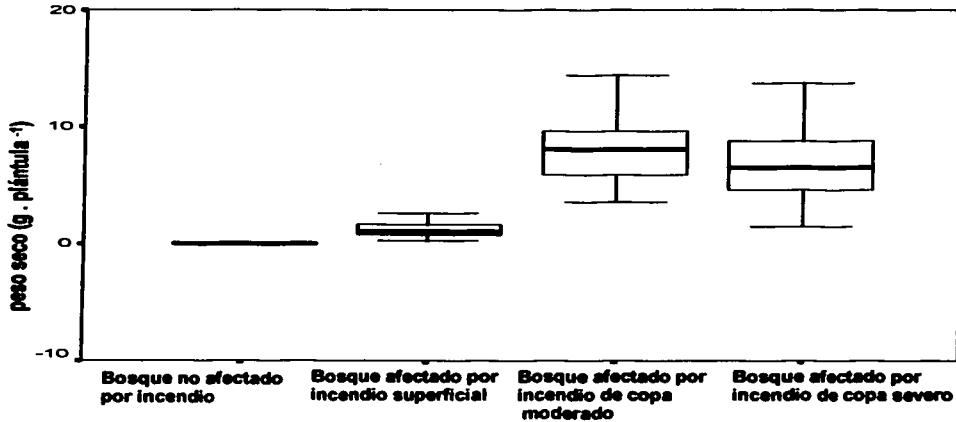


Figura 23. Biomasa en peso seco del follaje de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, de las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

En peso seco (Figura 23), los brinzales de la zona de bosque afectado por incendio de copa severo superan por un $\bar{X} = 3.4$ g a los brinzales de la zona de bosque afectado por incendio superficial ($\bar{X} = 1.29$ g); por lo que son significativamente diferentes ($p < 0.026$) (Cuadro 9). Entre las zonas afectadas con incendio de copa, hay diferencias significativas ($p < 0.000$), superando la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado ($\bar{X} = 8.75$ g) sobre la zona de bosque afectado por incendio de copa severo ($\bar{X} = 4.65$ g).

Cuadro 9. Significancia estadística para el peso seco del follaje de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).

zona	Bosque no afectado por incendio	Bosque afectado por incendio superficial	Bosque afectado por incendio de copa moderado	Bosque afectado por incendio de copa severo
Bosque no afectado por incendio		0.172	0.000	0.001
Bosque afectado por incendio superficial	0.172		0.000	0.026
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0.000	0.000		0.004
Bosque afectado por incendio de copa severo	0.001	0.026	0.004	

Biomasa en peso fresco del sistema de raíces en brinzales de *Abies religiosa*

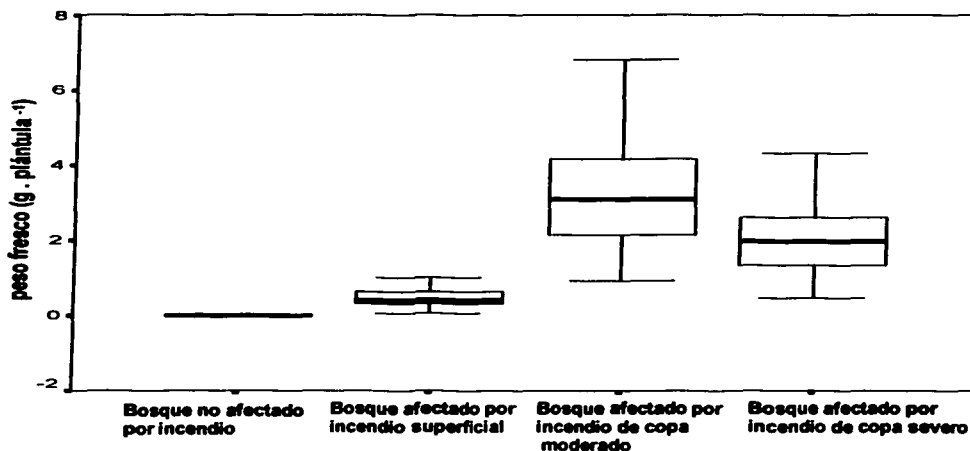


Figura 24. Biomasa en peso fresco del sistema de raíces de brinzales *Abies religiosa* de cuatro años de edad, de las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

En lo que respecta al peso fresco de la raíz, la Figura 24 muestra que los brinzales de la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado adquieren mayor biomasa ($\bar{X} = 3.4$ g); superando a los brinzales de la zona de bosque afectado por incendio de copa severo ($\bar{X} = 1.41$), de forma que presentan diferencias significativas ($p < 0.001$) (Cuadro 10). Los brinzales de la zona de bosque afectado por incendio superficial ($\bar{X} = 0.49$ g) no presentan diferencias significativas con el peso fresco radicular de las plántulas en la zona de bosque afectado por incendio de copa severo ($p < 0.245$), en cambio, la diferencia es más notoria con los brinzales de la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado.

Cuadro 10. Significancia estadística para el peso fresco del sistema de raíces de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).

zona	Bosque no afectado por incendio	Bosque afectado por incendio superficial	Bosque afectado por incendio de copa moderado	Bosque afectado por incendio de copa severo
Bosque no afectado por incendio		0.243	0.000	0.025
Bosque afectado por incendio superficial	0.243		0.000	0.245
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0.000	0.000		0.001
Bosque afectado por incendio de copa severo	0.025	0.245	0.001	

Biomasa en peso seco del sistema de raíces de brinzales de *Abies religiosa*

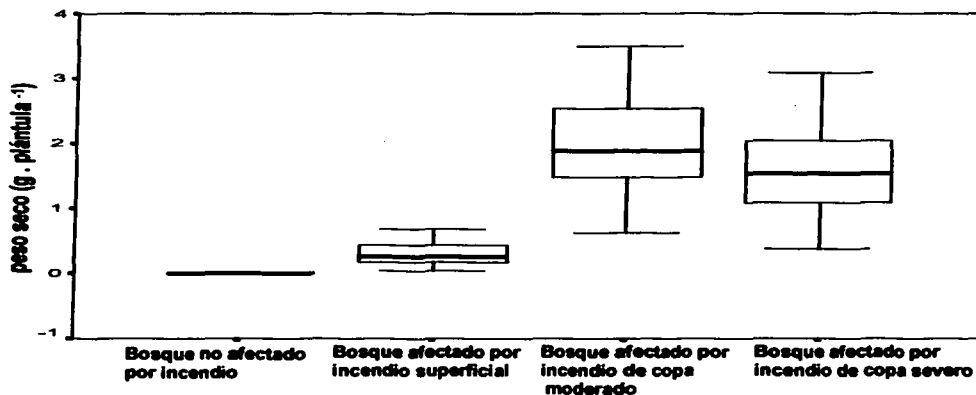


Figura 25. Biomasa en peso seco del sistema de raíces de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, de las zonas post-incendio, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

En peso seco, en la Figura 25 se muestra que el sistema radical de los brinzales de la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado es mayor ($\bar{X} = 2.08$ g) y significativamente distinta ($p < 0.015$) al peso seco de los de la zona de bosque afectado por incendio de copa severo, pues su $\bar{X} = 1.13$ g. En contraste con los brinzales de la zona de bosque afectado por incendio superficial, la diferencia es mayor ($p < 0.000$), pues éstos solo pesan $\bar{X} = 0.31$ g (Cuadro 11).

Cuadro 11. Significancia estadística para el peso seco del sistema de raíces de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).

zona	Bosque no afectado por incendio	Bosque afectado por incendio superficial	Bosque afectado por incendio de copa moderado	Bosque afectado por incendio de copa severo
Bosque no afectado por incendio		0.244	0.000	0.003
Bosque afectado por incendio superficial	0.244		0.000	0.049
Bosque afectado por incendio de copa moderado	0.000	0.000		0.015
Bosque afectado por incendio de copa severo	0.003	0.049	0.015	

Temperatura y humedad edáfica

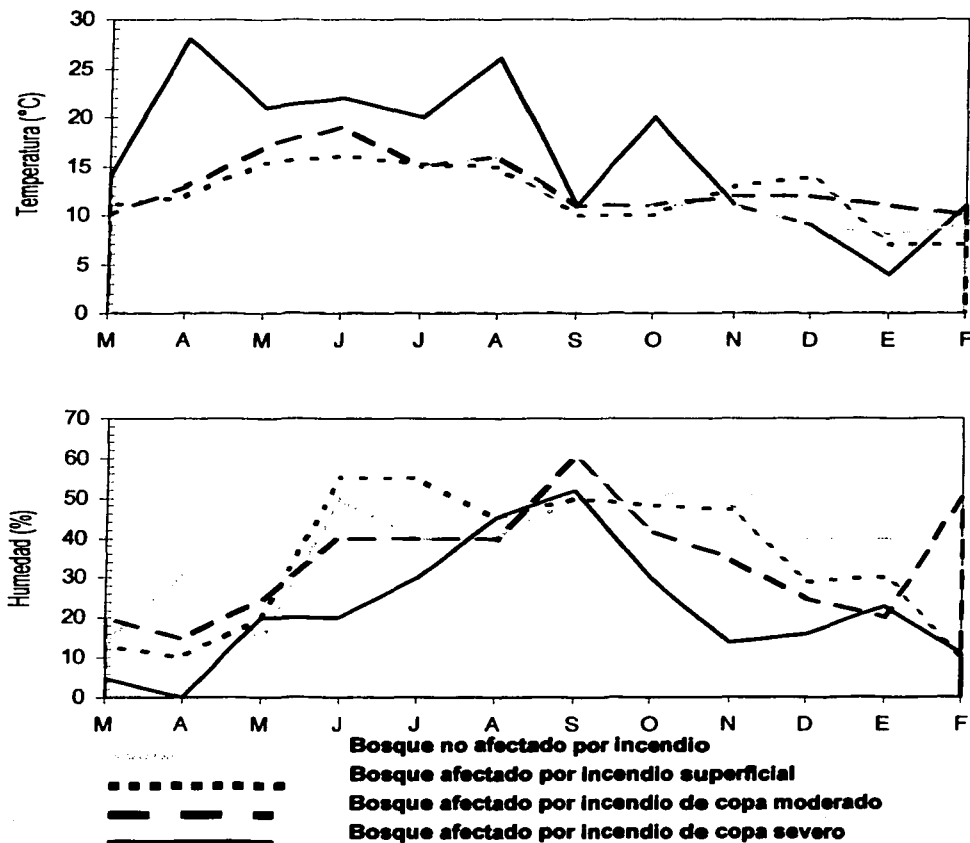


Figura 26. Variación estacional de la humedad y temperatura edáfica, en zonas post-incendio del bosque de *Abies religiosa*; en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

En cuanto al comportamiento de los parámetros edáficos y ambientales, la temperatura del suelo en la zona de bosque afectado por incendio superficial, es similar con la zona de bosque no afectado por incendio, en las cuales, durante el verano el suelo alcanza una temperatura de 15 °C. En cambio, en las zonas afectadas por incendio de copa se registró un aumento en la temperatura del suelo; de dos grados para la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado (primavera-verano) y diez grados para la zona de bosque afectado por incendio de copa severo (primavera-verano), por lo que los cambios de temperatura edáfica en ésta última son muy bruscos. Como consecuencia, la humedad edáfica es mayor (20 %) en la zona de bosque no afectado por incendio y en la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado e inferior en la zona de bosque afectado por incendio superficial y de copa severo con 14 % y 4 %, respectivamente (Figura 26).

Temperatura y humedad ambiental

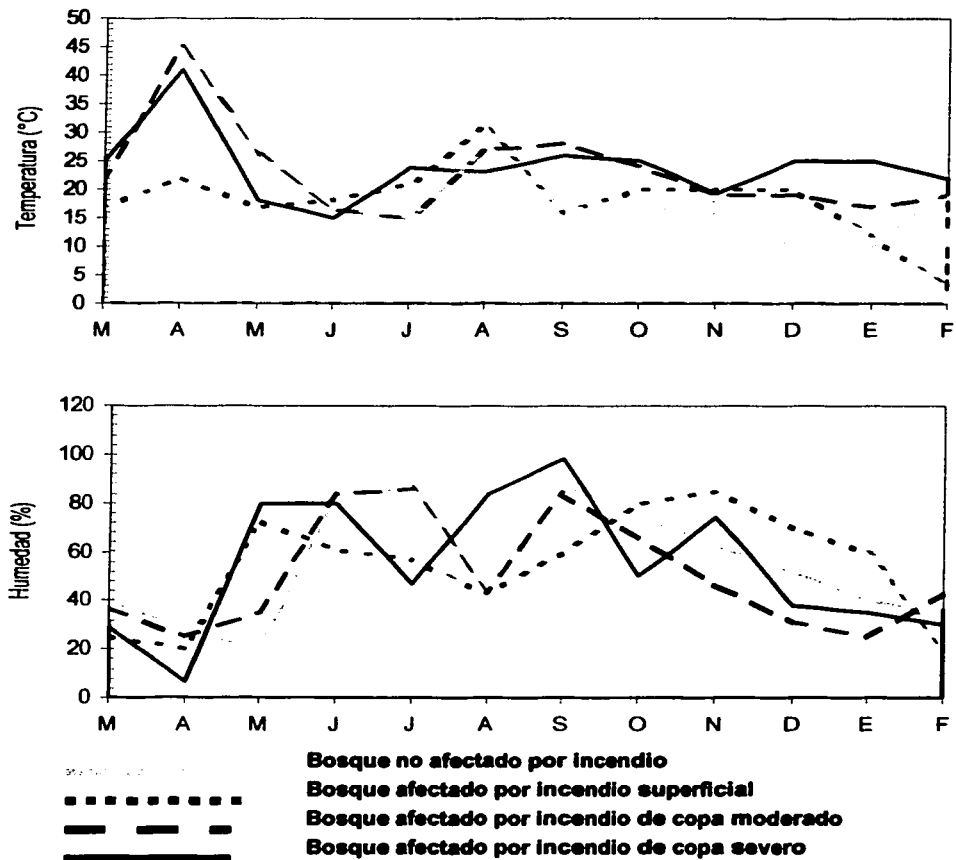


Figura 26. Variación estacional de la humedad y temperatura ambiental, en zonas post-incendio del bosque de *Abies religiosa*; en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo.

En la zona de bosque no afectado por incendio, la temperatura ambiental (medida sobre la superficie del suelo) desciende de 21 °C (primavera) a 13 °C (invierno); no así, en la zona de bosque afectado por incendio superficial, ya que se presenta un ligero ascenso, principalmente durante el verano (23 °C) y otoño (19 °C), descendiendo nuevamente en invierno (12 °C). En tanto que durante la primavera, la temperatura ambiental es mayor en las zonas de bosque afectadas por incendios de copa que en la zona de bosque afectado por incendio superficial (Figura 27, Cuadro 12).

Cuadro 12. Significancia estadística para el efecto de la temperatura y humedad sobre el desarrollo de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años de edad, en las zonas post-incendio (Prueba de Tukey HSD).

	zona	altura (cm)	cobertura (cm)	crecimiento radical (cm)	Folleaje		sistema de raíces		temperatura (°C)		humedad (%)		días de crecimiento
					peso fresco	peso seco	peso fresco	peso seco	suelo	ambiental	suelo	ambiental	
zona	1.0000												
altura (cm)	0.6800	1.0000											
cobertura (cm)	0.6957	0.7736	1.0000										
crecimiento radical (cm)	0.3195	0.4363	0.3911	1.0000									
peso fresco de folleaje (g)	0.6906	0.6464	0.7212	0.4754	1.0000								
peso seco de folleaje (g)	0.5139	0.6363	0.7461	0.4602	0.9816	1.0000							
peso fresco (g) del sistema de raíces	0.4082	0.7249	0.6446	0.5271	0.9054	0.8456	1.0000						
peso seco (g) del sistema de raíces	0.4673	0.7707	0.7004	0.4879	0.9263	0.9266	0.9795	1.0000					
temperatura (°C) del suelo	0.9620	0.6136	0.6162	0.2204	0.3947	0.4288	0.3006	0.4066	1.0000				
temperatura (°C) ambiental	0.6547	0.1982	0.1875	0.1641	0.0280	0.0329	0.1399	0.0006	0.7457	1.0000			
humedad (%) del suelo	0.9220	0.5063	0.5042	0.1034	0.2737	0.3164	0.1700	0.2915	0.9796	0.8963	1.0000		
humedad (%) ambiental	0.9607	0.7295	0.7302	0.3966	0.5518	0.5960	0.4815	0.5538	0.9449	0.5399	0.6573	1.0000	
días de crecimiento	0.0060	0.7633	0.7707	0.5236	0.6581	0.6458	0.6221	0.6464	0.7539	0.1860	0.6049	0.9206	1.0000

11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Densidad de semillas y plántulas recién emergidas de *Abies religiosa*.

La mayor densidad de semillas se presentó en la zona de bosque afectado por incendio superficial, pues en ésta, el arbolado adulto posee las mayores coberturas de copa. En la zona de bosque no afectado por incendio, la densidad de semillas es menor debido a que la baja temperatura en el suelo y ambiente conlleva a que el arbolado disminuya su actividad metabólica, traduciéndose en una menor producción de conos y semillas. En contraparte, a consecuencia del incendio, la cobertura de la copa del arbolado en la zona afectada por incendio de copa moderado es menor y prácticamente nula en aquellos que fueron eliminados por el incendio de copa severo.

De esta manera, el arbolado que posee una extensa copa, tiene mayor área foliar para almacenar reservas de nutrimentos y a su vez, mayor capacidad de producción de conos y semillas. Por lo tanto, a mayor daño ocasionado en la copa, se presentará una menor producción de semillas.

En el caso de la zona de bosque afectado por incendio de copa severo, la influencia del fuego sobre la masa forestal, produjo la muerte del 100 % del follaje y con ello, se redujo la posibilidad de disponer de una gran cantidad de semillas sobre el suelo forestal, contando únicamente con aquellas que caen por vía dispersión por viento (Cope, 1993). De esta manera, se infiere que a mayor intensidad de incendio, la densidad de semillas sobre el piso forestal, decrece.

El número de semillas presentes en el piso forestal concuerda con la densidad de plántulas recién emergidas. Sin embargo, una alta densidad de semillas y plántulas recién emergidas no indica que hay una buena regeneración de *Abies religiosa*, ya que según Ángeles (1998), las plántulas recién emergidas tienen que tolerar los factores de mortandad y sobrevivir.

La regeneración natural de *Abies religiosa* es prácticamente nula en la zona de bosque no afectado por incendio. La ausencia de plantas jóvenes de *Abies religiosa* en esta zona, está relacionada con la hojarasca y la capa de musgo, pues si bien permiten un alto porcentaje de germinación de semillas de *Abies religiosa*, actúan como barrera física al impedir que la radícula de la plántula recién emergida penetre el suelo mineral, limitando así, su capacidad para sobrevivir en las primeras fases de desarrollo. Además de la capa de musgo y la hojarasca, Ángeles (1998) incluye a la inhibición por líquenes (*Peltigera polydactyla*) y enfermedades por hongos (*Fusarium sp.*) como factores de mortalidad.

Densidad de brinzales de *Abies religiosa* de cuatro años

En condiciones pre-incendio, la densidad de arbolado adulto implicaría que se produce una cantidad similar de semillas. Al ocurrir el incendio, se modifica el aporte de semillas al piso forestal, de forma que la densidad de brinzales de cuatro años también es variable.

Por efecto de un incendio superficial, los factores de mortandad mencionados anteriormente (capa de musgo, hojarasca, líquenes y hongos) disminuyen a tal grado que, aunque en muy baja densidad, los brinzales de *A. religiosa* logran establecerse principalmente en suelo desnudo y sobrevivir hasta los cuatro años de edad (período 1998-2002, después de ocurrido el incendio). Sin embargo, ahora existen factores que limitan su crecimiento y desarrollo, entre éstos, la baja temperatura del suelo -sobre todo, en los días de crecimiento (primavera y principios de verano)- y de acuerdo con García (2003), la intensidad de luz y la compactación del suelo. Esto

ocasiona una menor sobrevivencia de las plántulas recién emergidas y por ello, el número de brinzales de cuatro años es menor.

En lo que respecta a la temperatura edáfica, los resultados nos indican que el desarrollo de *Abies religiosa*, es favorecido cuando la temperatura del suelo alcanza valores superiores a 14 °C. Al igual que en la zona de bosque no afectado por incendio, en la zona de bosque afectado por incendio superficial, el dosel permaneció sin ninguna alteración; de manera que la temperatura del suelo, fue inferior a los 14 °C por efecto de la sombra.

En consecuencia, los brinzales de *Abies religiosa* desarrollan menor altura, cobertura y biomasa en respuesta a la baja temperatura que prevalece durante la mayor parte del año, ya que *A. religiosa* disminuyen su actividad metabólica (Spurr, 1980), y por consiguiente, fisiológicamente tienden a reducir su crecimiento en altura y cobertura, lo cual permite a las raíces absorber cantidades adecuadas de agua y nutrimentos (Uchyttil, 1991; Cope, 1992; Cope, 1993; Sullivan, 1993 y Zouhar, 2001),

Por otro lado, producen menos biomasa (materia seca) y retienen los productos fotosintetizados (principalmente almidón) en el vástago, a expensas del crecimiento de la raíz (Larcher, 1977; Harold, 1984), reestableciendo su crecimiento a mediados del verano, cuando la temperatura asciende a los 15 °C (Prichett, 1986; Brown, 2000; Baskin, 2001). En la zona post-incendio de copa moderado y severo, el incendio eliminó a la capa de musgo y hojarasca, además de afectar a una parte del dosel superior, ocasionando un aumento en la intensidad de luz que llega al piso forestal, así como un aumento en la temperatura y humedad del suelo.

La temperatura edáfica en la zona de bosque con incendio de copa moderado se eleva a 17 °C a inicios de la primavera y se prolonga hasta finales del verano. Dicho aumento, promueve el desarrollo de las raíces, la capacidad para tomar agua y nutrimentos; el despliegue de una gran cantidad de materiales orgánicos de la raíz hacia la parte aérea para incrementar el desarrollo de la cobertura, traduciéndose en un considerable crecimiento en altura y por ende, un aumento en biomasa (Velázquez, 1984). Aunado esto, *Abies religiosa* cuenta además con las reservas alimenticias acumuladas (en el año anterior) en el tallo y de las raíces para iniciar su crecimiento. Como resultado, una alta densidad de brinzales que logran establecerse desarrollan mayor altura, cobertura, biomasa foliar y radical.

En la zona de bosque afectado por incendio de copa severo, la densidad de brinzales de cuatro años es menor en la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado, debido a que el único aporte de semillas está dado por el arbolado vivo que la delimita. En cuanto al desarrollo de altura, cobertura y biomasa, éste también es inferior.

Este menor incremento en altura se debe a las características del suelo, el cual fue clasificado por García (2003) como Leptosol ándico, de forma que su profundidad (20 cm) posiblemente sea el factor que limita el desarrollo de *Abies religiosa*, por efecto de las altas temperaturas y variación en la humedad en el suelo a lo largo de todo el año, principalmente durante dos meses consecutivos (marzo-abril), justo durante la estación de crecimiento, condicionando a las plántulas a un constante periodo de estrés.

Sin embargo, la humedad no representa un factor que impida el establecimiento de los brinzales de *Abies religiosa*, porque fisiológicamente las plántulas aún poseen reservas alimenticias que le permiten iniciar su crecimiento en la época de crecimiento (primavera), pero al almacenar menor cantidad de productos fotosintéticos, las plántulas se ven obligadas a reducir su desarrollo.

De acuerdo con Harper (1977), la densidad de plántulas así como su vigor, son indicadores de la capacidad de regeneración natural de un ecosistema. Estas características fenológicas indican que las condiciones post-incendio de la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado, favorecen la regeneración natural de *Abies religiosa*.

García (2003) encontró un aumento de nutrimentos en el suelo, principalmente nitrógeno y fósforo (indispensables para mantener las actividades fotosintéticas) en las zonas afectadas por incendio, en comparación con la zona de bosque no afectado. Sin embargo, al analizar el tejido vegetal de plántulas de *A. religiosa*, no encontró deficiencias nutrimentales en éstas, independientemente del lugar donde se establecen. Por lo tanto, concluyó que la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, no representa un factor que limite el crecimiento de *A. religiosa*, tanto en la zona de bosque no afectado por incendio como en las zonas de bosque afectado por incendio superficial y de copa.

CONCLUSIONES

- El tipo e intensidad de incendio influyó sobre la densidad de semillas de *Abies religiosa* presentes en el piso forestal, ya que el grado de afectación de la copa influye en la producción de semillas. Existe mayor producción en la zona post-incendio superficial y es nula en la zona post-incendio de copa severo.

- Una mayor densidad de semillas y plántulas recién emergidas no garantiza una alta regeneración natural de *Abies religiosa*.

- La alta regeneración natural de *Abies religiosa*, mayor desarrollo y mayor biomasa, se presenta en las zonas de bosque afectados por incendio de copa, principalmente bajo condiciones post-incendio de copa moderado.

- La mayor densidad de brinzales de *A. religiosa* de cuatro años, el mayor crecimiento en altura, cobertura, longitud radicular y biomasa, indican que las condiciones post-incendio de temperatura edáfica de la zona de bosque afectado por incendio de copa moderado, favorecen el proceso de regeneración natural de *Abies religiosa*.

XII. LITERATURA CITADA

- Acosta, M. M. (1986). Estudio de la dispersión de semillas de *Pinus montezumae* Lamb., en el campo experimental forestal San Juan Tella, Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo, División de Ciencias Forestales, Chapingo, México. 64pp.
- Alvarado, R. D. (1989). Declinación y muerte del Bosque de Oyamel *Abies religiosa* en el sur del Valle de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Estado de México.
- Aguilar, H. M. (1988). Análisis de la campaña emergente de control y combate del defoliador del Oyamel *Evita hyalinaria blandaria* (Lepidoptera: Geometridae). Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México.
- Aguilar, M. J. C., Cruz, L. M., Velásquez, M A., y Vargas, H. J. J. (1992). Relación ecológico-silvícola entre la regeneración natural de *Pinus patula* Schl. et Cham. y arbustos de *Baccharis conferta*. Revista Agrociencia. Serie Recursos Naturales Renovables, volumen 2 (1):27-39.
- Ángeles, C. E. (1998). Bases para la restauración del estrato arbóreo de los Bosques mixtos templados. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 150pp.
- Baskin, C.C. y Baskin, J. M. (2001). Seeds. Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. Academic Press. United States of America. 627pp
- Begon, M. (1988). Ecología. Individuos, poblaciones y comunidades. Editorial Ornega. Barcelona, España. 670pp.
- Bojorges, S. J. A. (1990). Índice de sitio para oyamel (*H. B. K.*) Schl. et Cham. en Zoquiapan, México. Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Chapingo, México.

- Brown, J. K. y Smith, J. K. (2000). Wildland fire in ecosystem. Effects of fire of flora. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. volumen 2 (1):257-283.
- Campbell, S. G. (1995). Introducción a la Biofísica ambiental. Editorial EUB, Barcelona, España. 187pp.
- Cardeña, R. J. B. y Mathus M. J. G. (1987). Los incendios forestales. 1er Simposio Nacional sobre Investigación Forestal. 24-26 de agosto de 1987. Universidad Autónoma de Chapingo, México. Subsecretaria forestal INIF. División de Ciencias Forestales. págs. 347-358.
- Carreño, J. M. (1973). Evaluación de una plantación de coníferas de 20 años de edad. Tesis de Ingeniero Agrónomo especialidad en Bosques. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Carrillo, F., Musálem, M. A., Muñoz, A. y Mendoza, L. (1988). Influencia de la época, edad de la planta y sistema de plantación en la sobrevivencia de plantas de *Pinus montezumae* LAMB. Revista Agrociencia. Serie Sistemas de producción en Bosques Templados, # 22. pp 41-50.
- Castro, J. D. (1997). Crecimiento longitudinal de individuos juveniles de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl et Cham, en el Eje Neovolcánico Transversal. Tesis de Licenciatura, carrera de Biología. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.
- Cetina *et al.* (1984). Aspectos de la regeneración de un Bosque de *Pinus cembroides* zucc. en la región de la Amapola, S. L. P. Revista Agrociencia. Serie Sistemas de Producción en zonas áridas. pp 219-228
- Cibrián, T. D; Ebel, B. H; Yates, H. O; Méndez, M. J. T. (1986). Insectos de conos y semillas de las coníferas de México. Publicado por la Estación Experimental Forestal del Sureste Asheville, Carolina del Norte.

- Challenger, A. (1998). Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. Instituto de Biología, UNAM. Agrupación Sierra Madre. México.
- Cutter, S. L., Lambert, R. H., Renwick, H. W. (1991). Exploitation, Conservation, Preservation. A Geographic Perspective on Natural Resource Use. Second edition. Edit. Wiley. Printed in the United States of America.
- Figuroa, R. B. L. y Moreno, G. S. (1993). Estructura y sucesión en poblaciones de *Abies religiosa* y *Abies religiosa* var. *emarginata* de la Sierra de Manantlán, Jalisco. Agrocienca, vol. 3, #2. Serie Recursos Naturales Renovables.
- Ferrel G. y Miller P. (1984). Observaciones de la mortalidad de *Abies religiosa* en el Parque Recreativo y Cultural Desierto de los Leones. Forest Service. USDA. California.
- Flores, G. D. (1987). Notas sobre la vegetación de México. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 120pp.
- Franco, L. J., De la Cruz, A.G., Cruz, G. A., Rocha, R. A., Navarrete, S. N., Flores, M. G., Kato, M. E., Sánchez, C. S., Abarca, A. L. y Bedia, S. C. (1985). Manual de Ecología. Editorial trillas, México, D.F.
- Franco, R. C. (1993). Aplicación de diseños de muestreo en inventarios forestales. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Pecuarias. México, D. F. 155pp.
- Galindo, F. y Franco, I. (1988). Plan de manejo del Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. SEDUE, Hidalgo.

- Galván M. y Martínez P. (1985). Diferentes profundidades de siembra en almácigos de *Pinus montezumae* Lamb., *P. pseudostrobus oaxacana* y *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. et Cham. Memorias de la III Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales. pp 330-361. INIF. México.
- García, Q. O. (2003). Propiedades físicas y químicas de los suelos afectados por incendios, en un bosque de *Abies religiosa* (h.b.k.) Schl. et Cham. del parque nacional "El Chico" Hidalgo. Tesis de licenciatura en biología. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. 61pp.
- Garduño, G. R. (1944). El oyamel y su aprovechamiento. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- González, G. M. (1985). Comportamiento de la germinación y crecimiento inicial de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham en diferentes aperturas de dosel, preparaciones al suelo y variantes de siembra en Zoquiapan, México. Tesis profesional. UACH. México.
- González, G., Músalem, M. A., Zarate, G. L., y Velázquez, M. A. (1991). Estudio de la germinación de oyamel *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. et Cham., en condiciones naturales en Zoquiapan, México. Revista Chapingo. 14(75):59-66.
- Gómez-Pompa; Vázquez, C. Y.; Rodríguez, S. y Butanda, A. C (1976). Regeneración de Selvas. Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Editorial Continental. México. 676 pp.
- Gómez, G. A. (1989). Relación entre algunas condiciones edáficas y topográficas con los índices de sitio y de terreno de dos coníferas. Tesis de maestría. Centro de Edafología. Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, México.

- Gómez, P. M. (1998). Evaluación de la extracción comercial de musgo en la Reserva Especial de la Biosfera "Mariposa monarca". Sierra Chincua, Michoacán, México. Tesis de maestría en Conservación de Recursos bióticos. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología.
- Grime, J.P. (1982). Estrategias de adaptación de las plantas y procesos que controlan la vegetación. Limusa, México. 230 pp.
- Harold, W. & Hocker Jr. (1984). Introducción a la Biología Forestal. Editorial AGT. México. 446 pp.
- Harper, J. L. (1977). Population Biology of plants. Academic Press Inc. New York.
- Helms, U. E., y Baker, F. S. (1982). Principios de silvicultura. Traducción al español de Ramón Elizondo Mata. MacGraw-Hill. México. 406pp.
- Hernández, E. (1979). Observaciones sobre la biología de Scolytus mundaes un descortezador de Abies religiosa (H. B.K.) Schl et Cham, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. Tesis Ingeniero Agrónomo, especialidad en Bosques. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Hernández, T. A. y Ortiz, S. C. (19**). Estimación de la influencia de algunos factores meteorológicos sobre la productividad del género Pinus, en México. Revista Agrociencia. Serie Dasonomía. pp: 229-236.
- INIFAP (1988). Cuarto Simposium Nacional de Parasitología Forestal y IV Conferencia en Plagas y enfermedades forestales. Memoria # 60. pág. 556.
- Islas, G. F. (1987). Un modelo de regeneración y mortalidad para Pinus arizonica Engelm. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 82 pp.
- Klomp, N & Lunt, L. (1997). Frontiers in Ecology building the links. Editorial Elsevier Science. U.S.A. 2240pp.

- Kozlowski, T. T. and Constantiniديو (1986). Environmental Pollution and Tree Growth. Forestry Abstracts. 47(2):105-132.
- Lara, R. M. (1994). Ensayo de ocho especies forestales para árboles de Navidad, en el campo experimental forestal "Barranca del Cupatitzio". Revista de Ciencia Forestal en México. 74(19):78-87.
- Larcher, W. (1977). Ecofisiología vegetal. Omega. Barcelona, España. 305pp.
- López, L. M. A. (1993). Evaluación nutrimental de *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones, D. F. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- McVaugh, R. (1992). Flora Novo-Galiciana. A descriptive account of the vascular plants of western Mexico. vol. 17, Gymnosperms and Pteridophytes. University of Michigan Herbarium Ann Arbor.
- Madrigal, S. X. (1967). Contribución al conocimiento de la ecología de los Bosques de oyamel en el Valle de México. Tesis profesional. Instituto Politécnico Nacional. México. 40pp.
- Manzanilla, H. (1976). Investigaciones Epidométricas y Bosques mexicanos de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl et Cham. SAG. México. 165 pp.
- Martínez, M. (1963). Las Pináceas Mexicanas. 3ª edición. UNAM. 400pp.
- Mastache, M. A. (1988). Tratamientos complementarios al suelo en áreas de regeneración de *Pinus patula* Schl et Cham., en la región de Chinahuapan-Zacatlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo, División de Ciencias Forestales, Chapingo, México. 45pp.

- May, E. N. G. (2001). Dinámica de la regeneración de *Abies religiosa* (HBK) Schl et Cham y *Pinus hartwegii* Lindl., en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, Estado de México. Tesis de Ingeniero forestal con orientación en evaluación y abastecimiento. Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, Estado de México.
- Melo, G. C. y López, G. J. (1993). Parque Nacional "El Chico", marco geográfico-natural y propuesta de zonificación para su manejo operativo. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Miranda F. y Hernández E. X. (1963). Los tipos de Vegetación en México y su clasificación. Escuela Nacional de Agricultura. Serie de sobretiros # 28. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Miranda F., Gómez Pompa A. y Hernández X. E. (1967). Un método para la investigación ecológica de las regiones tropicales. Anales del Instituto de Biología, UNAM. Serie Botánica, 38(1):101-110.
- Mooney, H. A., Winner, W.E., Pell, E.J. (1991). Response of plants to multiple stresses. Academic Press. United States of America. 422pp.
- Niembro, R. A. (1981). Características morfológicas y anatómicas de semillas forestales. Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Bosques. México. 50pp.
- Niembro, R. A. (1990). Árboles y arbustos útiles de México. Ed. Limusa. México. 206pp.
- Ortega, S. V. J. (1962). Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Abies religiosa*. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Ortega, P. N; Arteaga, M. B. y Velázquez, M.A. (1993). Evaluación de áreas de regeneración de pino en la Sierra Norte de Puebla. Revista Agrociencia. Serie Recursos Naturales Renovables, 3(1): 47.

- Padilla, G. H. P. (1985). Determinación del pH de la precipitación pluvial en el Valle de México y zonas circundantes. Principales mecanismos de formación de la lluvia ácida. Tesis de Licenciatura en Química. Facultad de Química, UNAM.
- Pérez, L. C. (2000*). Técnicas de muestreo estadístico. Teoría, práctica y aplicaciones informáticas. Editorial Alfa omega-RAMA. México. 600pp.
- Pérez, S. M. (2000). Patrón de retención de copa como un reflejo del vigor del Bosque de Oyamel (*Abies religiosa*) en relación a la contaminación. Tesis de Licenciatura, carrera de Biología. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. 53pp.
- Pritchett, W. L. (1986). Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Traducción al español de José Hurtado Vega. Limusa. México. 293pp.
- Reygadas, D. G., Ramírez y Zepeda M. (1989). Evaluación de una plantación de coníferas en el campo experimental San Juan Tetla, Puebla. Memorias del Congreso Forestal Mexicano. pp 765-768. Tomo II. SARH, México.
- Rivera, V. G. (1989). Contribución al estudio fitoecológico del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones. Tesis profesional. ENEP Zaragoza, UNAM.
- Robles, M. G., Salazar, T. R., Ángeles, C. E. (1999). Evaluación de regeneración natural y reforestación post-incendio, de *Abies religiosa*, en el Parque Nacional "El Chico". Hidalgo. Memorias del IV Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca. pág. 145
- Rodríguez, A. A. (1983). Muérdago enano sobre *Abies*, *Pinus* y *Pseudotsuga* en México. Ciencia Forestal 8(45):7-15.
- Rodríguez, T. D. A. (1988). Efecto de los incendios en los ecosistemas forestales. Departamento del D. F. Comisión Coordinadora para el Desarrollo Rural (COCODER). 26pp.

- Romeu, E. (1998). Incendios forestales. Revista Prevención, publicado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres. # 18, pág. 7-12.
- Rzedowski, J., Vela G. L., Madrigal, S. X. (1977). Algunas consideraciones acerca de la dinámica de los Bosques de coníferas en México. Antología fitogeográfica, serie de apoyo académico # 25; compilada por Enrique Guizar Nolazco (1986). Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. Publicado en Ciencia Forestal 2(5):15-35.
- Rzedowski, J. (1978). La vegetación de México. Ed. Limusa. México.
- Rzedowski, J. y Rzedowski, G. (1981). Flora fanerogámica del Valle de México. CECSA, México, D. F.
- Sánchez, V. L. R; Pineda, L. M. R; Hernández, M. A. (1991). Distribución y estructura de *Abies religiosa* en el Cofre del Perote. Acta Botánica Mexicana 16:45-55.
- SARH, (1992). Inventario Forestal Nacional de Gran Visión (1991-1992). SHAR, México.
- SEMARNAP (1998). Los incendios forestales en México.
- Solórzano, M. C. (1965). Manual de prevención y combate de incendios forestales. Centro regional de ayuda técnica. Agencia para el desarrollo internacional. México. 62pp.
- Spurr, S. H. y Barnes, B. V. (1980). Forest Ecology. 3ª edición. Editorial J. Wiley and Sons. New York. 687 pp.
- Ulrich, B. (1990). Waldsterben: Forest decline in West Germany. Environmental Science and Technology. 24(4):436-441.
- Vargas, J. A. R. y Villagrán, P. E. G. (2000). Evaluar la sobrevivencia de *Quercus crassipes* y *Q. laurina* en dos zonas de bosque, en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. Servicio social de Biología. FES Zaragoza, UNAM.

- Velázquez, M. A. (1984). Estudio de algunos factores que influyen en la regeneración natural de *Pinus hartwegii* Lindl., en Zoquiapan, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 123 pp.
- Velázquez, M. A. y Musálem,, M. A. (1985). Algunas características de conos y semillas de *Pinus hartwegii* Lindl. en Zoquiapan México. In: Memoria de la III Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales. Publicación Especial No. 48. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México. pp 88-114.
- Velázquez, M. A. y Musálem,, M. A. (1986). Comportamiento de la viabilidad de la semilla de *Pinus hartwegii* Lindl., almacenada en el piso forestal. Revista Agrociencia # 64. Colegio de Postgraduados, Chapingo. pp 141-146.
- Velázquez, M. A. y Musálem,, M. A. (1986). Influencia del tratamiento al suelo y la condición de apertura de dosel en el establecimiento inicial de la regeneración natural de *Pinus hartwegii* Lindl., Revista Agrociencia # 64. Colegio de Postgraduados, Chapingo. pp 147-170.
- Waring, R. H. (1987). Characteristics of Trees Predisposed to Die. BioScience. 37(8):569-574.
- Zavala, Ch. F. (1995). Encinos Hidalguenses. Dirección de Difusión Cultural. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 133 p.
- Zavala, Ch. F., García, M. E. (1997). Plántulas y rebrotes en la regeneración de encinos en la Sierra de Pachuca, Hidalgo. Revista Agrociencia. 3(31):323-328.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CITAS ELECTRÓNICAS

- Cope, A. B. (1992). *Abies amabilis*. <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/tree/abiama/index.html>.
- Cope, A. B. (1993). *Abies magnifica*. <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/tree/abimag/index.html>.
- Cope, A. B. (1993). *Abies procera*. <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/tree/abipro/index.html>.
- Howard, J. L. (2000). *Abies grandis*. <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/tree/abigra/index.html>.
- Sullivan, J. (1993). *Abies bracteata*. <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/tree/abibra/index.html>.
- Uchytil, R. (1991). *Abies balsamea*. <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/tree/abibal/index.html>.
- Uchytil, R. (1991). *Abies lasiocarpa*. <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/tree/abilas/index.html>.
- Zouhar, K. (2001). *Abies concolor*. <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/tree/abicon/index.html>.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN