



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO FORESTAL

Factores de influencia en el enraizamiento de estacas de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. *et Cham.*

JESÚS DANIEL CASTILLO FLORES

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2011

La presente tesis titulada: "**Factores de influencia en el enraizamiento de estacas de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham.**" realizada por el alumno: Jesús Daniel Castillo Flores bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
FORESTAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

Dr. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ LÓPEZ

ASESOR

Dr. VICTOR MANUEL CETINA ALCALÁ

ASESOR

Dr. JAVIER LÓPEZ UPTON

ASESOR

M.C. TOMÁS HERNÁNDEZ TEJEDA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2011

Lo mejor de los milagros, es que existen...

DEDICATORIA

Con Cariño para:

Dios y a la Vida por permitirme lograr una meta más en mi vida.

Ma. Elena Flores Buendía y Jesús Castillo Gallegos, mis papás, por ser un ejemplo de lucha y de superación día a día, por su paciencia y su apoyo incondicional. Por su confianza y respeto a mis decisiones.

Gabriel y Perla, mis hermanos, por todos los momentos juntos, por su apoyo y confianza en todo momento.

Mary, Sarita y Mundo, mis abuelitos, por sus palabras y su amor que siempre me dan.

Ana, mi tía consentida, por su apoyo en todo momento y por esas palabras de ánimo que siempre me da.

Lalín y Ricky, mis primos preferidos, por esas risas inevitables y momentos inolvidables.

Irma y Rolando, mis padrinos, por ese apoyo incondicional en todos estos años.

Pablo Iván, por todas las enseñanzas durante estos años.

A mis ángeles y a Sebastianita y Jesús porque desde donde están sé que siempre cuidan de mí.

Jeremías, Paty, Brad, Bibis, Queene, Toby, Teo, Tito, Milky, Doris, Cerotín, Paloma, Scooby, Cerafín, Fina y Rocky; mi pequeño zoológico, por ser compañeros fieles de alegrías, desvelos, momentos difíciles, y por ser una gran alegría en mi vida.

A todos ustedes, **GRACIAS**, porque sin ustedes esto no hubiera sido posible...

AGRADECIMIENTOS

Con mi más profundo y sincero agradecimiento:

Al Colegio de Postgraduados por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de maestría y con ello contribuir a mi superación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

Al Dr. Miguel Ángel López López, por su paciencia, consejos y apoyo en todo momento durante la realización del presente trabajo; mi respeto y admiración siempre.

Al Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá, por su amistad, apoyo y por sus atinadas observaciones que enriquecieron este trabajo desde sus inicios.

Al Dr. Javier López Upton, por su apoyo y acertadas observaciones durante la realización de este trabajo.

Al M.C. Tomás Hernández Tejeda, por su amistad y apoyo en todo momento, además de sus acertadas observaciones y sugerencias que ayudaron a mejorar el presente trabajo.

A la Dra. Ofelia Plascencia Escalante por su amistad y participación como sinodal en el examen de grado.

A mis profesores del programa forestal por contribuir a mi crecimiento profesional con la transmisión de sus conocimientos.

A mis amigos y amigas de forma muy en especial a Vero, Lucia, Alma, Xochitl, Eric, Zaira, Tatis, Leidy, Liz, Billy y Vero, Ale Y., Paty U., Paty F., Nina, Maru, Cinthya, Yabris, Ere, Aranza, Vane, Carlos, Rodrigo, Eder, Felipe, Raúl y Jonathan; por su amistad, consejos, y por estar ahí siempre en el momento justo y a la hora exacta, mil gracias por todo.

A Lupita, Maru y Doña Bety, secretarias del programa forestal, por todo su apoyo durante mi estancia en la maestría.

A los señores Asunción, Lauro, Max y Raúl por su amistad y apoyo siempre que fue necesario y durante el montaje del experimento.

A Belem Soriano y Alejandra Ríos, grandes amigas también, por su apoyo en las salidas a campo.

A las personas del área de computo, Señorita Claudia, Señor Toño, Señoras: Isabel, Marce y Anita; por todo su apoyo cuando éste fue necesario.

ÍNDICE

Resumen	1
Abstract	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVOS	5
2.1 General	5
2.2 Específicos	5
3. HIPÓTESIS	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA	7
4.1 DESCRIPCIÓN DE <i>Abies religiosa</i>	7
4.2 SÍNDROME DE DECLINACIÓN FORESTAL	8
4.3 ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS	14
5. MATERIALES Y MÉTODOS	18
5.1 Descripción de las áreas de estudio	18
5.1.1 Parque Nacional Desierto de los Leones	18
5.1.1.2 Ubicación	18
5.1.1.3 Clima	18
5.1.1.4 Suelos	19
5.1.1.5 Vegetación	20
5.1.1.6 Fauna	20
5.1.2 Cerro Tláloc	21
5.1.2.1 Ubicación	21
5.1.2.2 Clima	21
5.1.2.3 Suelos	22
5.1.2.4 Vegetación	22
5.1.2.5 Fauna	22

5.2 Ensayos de enraizamiento	22
5.3. Análisis estadístico	25
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
6.1 Época de enraizamiento	29
6.2. Análisis general de los efectos de los factores ensayados	29
6.2.1 Tipo de hormona	29
6.2.2 Procedencia	30
6.2.3 Edad de la estaca	31
6.2.4 Presencia de síntomas de declinación en la estaca	32
6.3 Comportamiento de las variables de respuesta	33
6.3. 1 Porcentaje de estacas enraizadas y edad de estaca	33
6.4 Número de raíces	35
6.5 Longitud de raíces	38
6.6 Longitud de brotes	42
7. CONCLUSIONES	46
8. RECOMENDACIONES	47
9. BIBLIOGRAFÍA	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de especies mexicanas de <i>Abies</i>	7
Figura 2. Muerte del bosque de <i>Abies religiosa</i> afectado por el síndrome de declinación forestal en el Desierto de los Leones, D. F., México.	11
Figura 3. Síndrome de declinación forestal en el Desierto de los Leones, D. F.	12
Figura 4. Árbol de oyamel afectado por el síntoma de bronceado o enrojecimiento del follaje.	13
Figura 5. Árbol de oyamel con clorosis	14
Figura 6. Ubicación del Parque Nacional Desierto de Los Leones, D. F., Cerro El Tláloc y El Nevado de Toluca, México	19
Figura 7. Cámara de enraizamiento	27
Figura 8. Capas de tezontle en la cámara de enraizamiento	27
Figura 9. Preparación del sustrato	27
Figura 10. Obtención de estacas de <i>Abies religiosa</i>	27
Figura 11. Realización de heridas en la base de las estacas de <i>Abies religiosa</i>	28
Figura 12. Aplicación de hormona promotora de enraizamiento	28
Figura 13. Estacas de <i>Abies religiosa</i> en la cámara de enraizamiento	28
Figura 14. Riego por aspersión en la cámara de enraizado	28
Figura 15. Número de raíces en estacas de <i>Abies religiosa</i> tratada con AIB en el mes de julio	36
Figura 16. Número de raíces en estacas de <i>Abies religiosa</i> tratada con ANA en el mes de julio	36
Figura 17. Longitud de raíz en estaca estacas de <i>Abies religiosa</i> tratada con AIB procedente del DDLL, con síntomas de declinación forestal y procedente del año 2009	38
Figura 18. Longitud de raíz en estaca estacas de <i>Abies religiosa</i> tratada con ANA procedente del DDLL, con síntomas de declinación forestal y colectada del año 2009	39
Figura 19. Longitud de brotes en estaca s de <i>Abies religiosa</i> tratada con AIB procedente del DDLL, con síntomas de declinación y generada en el año 2009	42
Figura 20. Longitud de brotes en estacas de <i>Abies religiosa</i> tratada con ANA procedente del DDLL, sin síntomas de declinación generada en el año 2009	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Factores y niveles probados para enraizamiento de estacas de <i>Abies religiosa</i>	24
Cuadro 2. Porcentaje de enraizamiento de estacas de <i>Abies religiosa</i> por tratamiento para el mes de julio	34
Cuadro 3. Análisis de varianza del número de raíces producidas en el enraizamiento de estacas de <i>Abies religiosa</i>	37
Cuadro 4. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el número de raíces en el enraizamiento de estacas de <i>Abies religiosa</i>	38
Cuadro 5. Análisis de varianza para la longitud de raíces en estacas de <i>Abies religiosa</i>	41
Cuadro 6. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la longitud de raíces en estacas de <i>Abies religiosa</i>	42
Cuadro 7. Análisis de varianza para la longitud de brotes aéreos	44
Cuadro 8. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la longitud de brotes aéreos	45

Factores de influencia en el enraizamiento de estacas de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham.

Resumen:

La declinación forestal en el Desierto de los Leones, D.F. afecta al *Abies religiosa*, una de las especies dominantes en la región, requiriendo desarrollar estrategias de conservación. En el presente estudio se desarrolló un método de propagación vegetativa, lográndose determinar si el efecto de la procedencia, edad del material, tipo de hormona usada y la presencia de síntomas de declinación, influyen en la capacidad de enraizamiento de estacas de esta especie. Se realizaron tres experimentos de los cuales, sólo el tercero produjo enraizamiento. En este experimento se utilizó un sustrato compuesto por turba y agrolita para probar estacas de dos procedencias con y sin síntomas, generadas en dos estaciones de crecimiento y dos auxinas, manteniendo una humedad en el sustrato de 75-80%. La combinación de estos factores produjo 16 tratamientos, los cuales se repitieron 50 veces. Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza y pruebas de Tukey. Los resultados indican que la mejor época de enraizamiento de estacas de *A. religiosa* es a principios de diciembre siendo las más jóvenes y a las que se les aplicó ácido indolbutírico las que mejor enraizaron. La procedencia y la sintomatología no tuvieron efecto en el proceso de enraizamiento.

Palabras clave: Oyamel, propagación vegetativa, procedencia, auxinas, edad de estaca, ácido indolbutírico, ácido naftalenacético

Abstract:

Forest decline at Desierto de los Leones, Distrito Federal, Mexico affects *Abies religiosa*, one of the dominant tree species in the region, so that conservation strategies are being required. In this study a method of vegetative propagation was developed, and we were able to determine if the effect of provenance, age of material, type of hormone used and the presence of symptoms of decline, influence the rooting of cuttings of this species. Three experiments were conducted, and only the third one produced rooting of cuttings. In this experiment, a substrate composed of peat moss and perlite was used to test rooting of cuttings of two provenances, with and without symptoms, generated in two growing seasons and using two auxins (indole butyric acid and naphthalene aetic acid), keeping the soil moisture between 75-80%. The combination of these factors produced 16 treatments, which were replicated 50 times. Data were processed by analysis of variance and Tukey tests. The results indicated that the best time for rooting of *A. religiosa* cuttings is early December being the youngest and those receiving indol-butyric acid, the ones that rooted the best. Cutting provenance and decline symptoms did not have any effect on rooting.

Key words: Oyamel, vegetative propagation, provenance, auxins, age of cutting, indol-butyric acid, naphthalenacetic acid

1. INTRODUCCIÓN

Desde la aparición del hombre en la tierra los bosques han jugado un papel fundamental en las sociedades humanas, al proveerlas de materiales y recursos para construcción de viviendas y diversos objetos así como para su supervivencia.

En la actualidad, muchas de las áreas forestales están seriamente afectadas debido a las diferentes actividades antropogénicas.

Una de las afectaciones severas que padecen los bosques a nivel mundial, incluidos los de nuestro país, es el síndrome de declinación forestal, el cual ha tenido graves consecuencias acabando con grandes áreas boscosas que tienen una importancia ecológica, ambiental y recreativa para la humanidad (Hernández-Tejeda y Bauer, 1989; Alvarado y Hernández-Tejeda, 2002).

En México, una de las zonas donde se han realizado diversos estudios referentes al fenómeno de declinación forestal, es en el Parque Nacional Desierto de los Leones (DDL), ubicado al sur de la Ciudad de México. Las principales especies arbóreas como *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. y *Pinus hartwegii* Lindl., han sido afectadas gravemente en las últimas décadas, donde se observan áreas con un total de mortandad del arbolado.

En algunas zonas donde aún está presente el oyamel, se encuentra deteriorado y con síntomas característicos del fenómeno conocido como declinación forestal, tales como clorosis -pigmentación café rojiza en el haz de las hojas de mayor edad-, senescencia foliar prematura (Hernández-Tejeda y Bauer, 1984; Alvarado *et al.*, 1993; Alvarado y Hernández-Tejeda, 2002), reducción del diámetro (Alarcón *et al.*, 1993; Watmough y Hutchinson, 1999), además existir una pobre regeneración natural de dicha especie.

El DDL, desde su creación por decreto como área natural protegida, ha estado sometido a un proteccionismo por parte del gobierno, evitando así ejercer cualquier actividad silvícola o esquema de manejo forestal dentro de esta zona, dando lugar a que diversos factores puedan afectar a la vegetación presente en forma paulatina (González, 2005). Es importante señalar que en algunas cañadas del parque, se acumulan los

contaminantes atmosféricos provenientes de la ciudad de México que son arrastrados por los vientos dominantes que van del Noreste al Suroeste (Jáuregui, 1958; Bravo *et al.*, 1991), motivo por el cual algunos investigadores han señalado el efecto directo de los gases contaminantes como la posible causa del deterioro de la cobertura vegetal de la zona (Alvarado, 1989; Miller *et al.*, 1994 y López *et al.*, 1998).

Durante varios años se han realizado múltiples esfuerzos en el DDLL para tratar de conservar esta área ecológica y preservar su vegetación nativa; sin embargo, hasta el momento no se ha obtenido algún resultado satisfactorio que permita la preservación del oyamel siendo reemplazado artificialmente por otras especies como el *Pinus ayacahuite* que es la especie que más éxito ha tenido al adaptarse a las condiciones actuales presentes en la zona.

A pesar de lo anterior, aún existen bosques circundantes a la ciudad de México donde no se han reportado estudios con las condiciones del arbolado presentes en el DDLL, siendo uno de estas áreas naturales el bosque del Cerro Tláloc, que se encuentra a 30 km al noreste del Distrito Federal (González, 2005) y que presenta poblaciones de oyamel al igual que el Desierto de los Leones, donde según Palma (1996 y 2000) ha existido un uso continuo de los recursos forestales por parte de algunas comunidades, además de realizar prácticas de saneamiento de manera continua y utilizar los productos maderables y no maderables provenientes del bosque para uso doméstico.

El presente estudio propone una estrategia para tratar de conservar el *Abies religiosa* por medio del enraizamiento de estacas, ya que esta práctica puede jugar un papel importante en la implementación de programas de reforestación con material genético que haya probado resistencia al fenómeno de la declinación. Por otro lado, esta forma de reproducción sirve como medio para la propagación vegetativa de individuos a gran escala, en un periodo de tiempo menor al usualmente utilizado para su producción en forma sexual.

2. OBJETIVOS

2.1 General

- A) Determinar los factores que influyen en el enraizamiento de estacas de *Abies religiosa*.

2.2 Específicos

- A) Desarrollar un método de enraizamiento para estacas de *Abies religiosa*.
- B) Determinar el efecto de la procedencia, edad de la estaca y tipo de hormona, en la capacidad de enraizamiento de estacas de *Abies religiosa*.
- C) Determinar el efecto de la presencia de síntomas de declinación, sobre la capacidad de enraizamiento de las estacas de *Abies religiosa*.

3. HIPÓTESIS

3.1 El lugar de procedencia de las estacas de *Abies religiosa*, tiene efecto en su capacidad de enraizamiento.

3.2 Las estacas más jóvenes de *Abies religiosa* presentan una mayor capacidad de enraizamiento.

3.3 La sintomatología del síndrome de declinación forestal afecta la capacidad de enraizamiento en estacas de *Abies religiosa*.

3.4 El ácido indol butírico promueve de manera más eficiente la formación de raíces en estacas de *Abies religiosa* que el ácido naftalenacético.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 DESCRIPCIÓN DE *Abies religiosa*

Abies religiosa es una especie monoica (Madrigal, 1967). Sus órganos sexuales aparecen junto las yemas vegetativas durante el mes de diciembre, alcanzando su madurez en marzo y abril, meses en los que se lleva a cabo la polinización; por su parte, las yemas vegetativas continúan su desarrollo hasta agosto y septiembre. Los individuos de esta especie llegan a su madurez sexual entre los 21-25 años, alcanzando una altura de 13-25 m y un diámetro cerca de los 30 cm, teniendo una producción de semilla de cada dos años aproximadamente.

Su distribución natural en nuestro país abarca los estados de Hidalgo, Puebla, Veracruz, Michoacán, Jalisco, Morelos, Tlaxcala, Guerrero, México y el Distrito Federal (Figura 1) en un rango altitudinal que va desde los 2,100 a los 3,600 msnm, en ambientes con una temperatura media anual entre los 7 y 15° C, con una precipitación media anual de 1,000 mm y suelos volcánico del tipo andesitas, basaltos y riolitas (Martínez, 1963).

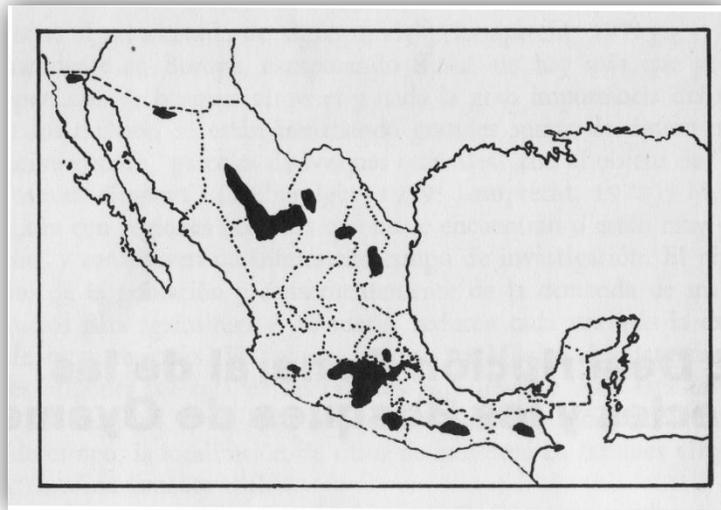


Figura1. Distribución de especies mexicanas de *Abies*. Tomado de Manzanilla, 1974.

Dentro de las principales plagas que afectan a esta especie se encuentran: *Arceuthobium abietis-religiosae* Heil, *Pseudohylesinus mexicanus* Blackman, *Scolytus*

ventralis LeConte, *Hylurgops flohri* Eggers, *Evita hyalinaria* (Dyar), *Fomes pinicola* (Sw.) Cooke y *Polyporus borealis* Fr.

El oyamel tiene una madera de textura mediana de vetado suave incolora e insípida; la madera de la albura es amarilla con tinte café claro diferenciándose de la del duramen que es de color rojizo (Ortega, 1962).

El principal uso que se le da al oyamel es como árbol de navidad, su follaje es utilizado para hacer adornos en ceremonias religiosas, y dado que su madera no es de muy buena calidad se recomienda para fabricar papel ya que la pulpa es de calidad superior.

Como madera aserrada se utiliza para la fabricación de cajas, puertas, marcos, techos interiores, postes, cercas y palos de escoba, entre otros. (Mayen, 1987), además de ser utilizada para la construcción de casas, su corteza es utilizada para hacer carbón. Los bosques de *A. religiosa* satisfacen también funciones de recreación y protección, albergando una gran diversidad biológica y sirviendo como zonas de captación de agua (Manzanilla, 1974).

4.2 SÍNDROME DE DECLINACIÓN FORESTAL

Desde principios de la década de los setentas, algunos científicos europeos, especialmente alemanes, advirtieron acerca de un nuevo fenómeno ocurrido en los bosques cercanos a las ciudades industrializadas, que inicialmente afectaba a los bosques de *Abies alba* Mill. y que después afectó a otras especies como *Pinus sylvestris* L., *Fagus sylvatica* L. y *Picea abies* (L.) Kars (Blank, 1985). Este fenómeno fue nombrado inicialmente como “Waldsterben” (muerte del bosque) (Hinrichsen, 1987) y actualmente este fenómeno es conocido como “Declinación Forestal”.

La declinación forestal es un síndrome que consiste en la acumulación de varios signos y síntomas, inducidos tanto por factores abióticos como bióticos, los cuales promueven el deterioro gradual del individuo vegetal. El deterioro se observa como la pérdida del vigor del arbolado, caracterizado por diferentes síntomas tales como: decoloración del follaje, defoliación prematura, rompimiento de las ramas y ramillas,

reducción del crecimiento, disminución del follaje y aparición de yemas adventicias así como el incremento en la incidencia de patógenos que dañan hasta ocasionar la muerte de los árboles en un periodo más corto de lo normal (Carnier, 1986; Ciesla, 1989).

Hacia finales de los años ochenta del siglo XX, aproximadamente seis millones de hectáreas de bosques habían sido afectadas por el síndrome de declinación en Europa, dentro de las que se encontraban once especies; cuatro de las coníferas más importantes (*Picea abies*, *Abies alba*, *Pinus sylvestris* y *Larix europea* DC) y siete de hoja ancha (Hinrichsen, 1987).

A la fecha, en diversas partes del mundo se ha estudiado la declinación forestal por diversos especialistas en el tema, no encontrando una respuesta al por qué de las causas de tal fenómeno y mucho menos a su solución. Tratando de encontrar una explicación a lo que provoca este síndrome en los bosques se han propuesto varias hipótesis como causantes de dicho fenómeno, dentro de las que están, la lluvia ácida (Poschenrieder y Barceló Coll, 1985), la cual provoca la acidificación de los suelos por la depositación de sustancias ácidas de la atmósfera ocasionando que la solubilidad de ciertos iones como el aluminio aumente y con ello se produzca su movilidad. El aumento en el suelo de la concentración de este elemento debilita y mata a los árboles debido a los efectos tóxicos que tiene para el sistema radicular de las plantas. Además de aumentar la solubilidad del aluminio, la acidez incrementa la solubilidad de otros elementos como el magnesio y diferentes metales pesados, los que podrían estar también implicados en la declinación de los bosques (Blank, 1985; Weiss y Rizzo, 1987).

A lo anterior, estudios realizados posteriormente han permitido concluir que la lluvia ácida no tiene efectos importantes sobre los cultivos y el riesgo se da cuando ésta tiene un pH menor de 3.0 produciendo necrosis, sin embargo, el análisis de tales registros ha indicado que esto ocurre de manera muy poco frecuente (Nilsson y Duinker, 1987).

Estudios publicados referentes al efecto de factores climáticos sobre las plantas como las sequías y las heladas también han tratado de relacionarse con la declinación forestal debido a la gran diversidad de síntomas que se han observado en este proceso (Johnson *et al.*, 1986).

Otra hipótesis menciona al ozono como principal causante de la declinación forestal (Schutt y Cowling, 1985). La presencia de este elemento en altos niveles ocasiona un incremento en los niveles de peróxido de hidrógeno y fotooxidación (Colbeck y MacKenzie, 1994) lo que produce daños a la membrana celular, amarillamiento de las hojas, senescencia acelerada de las hojas, caída de árboles por el ataque de diversos agentes patógenos y formación de un dosel delgado y con síntomas visibles de un decaimiento secundario (Manning y Krupa, 1992; Runeckles y Krupa, 1994).

Cowling (1985) y Mayo (1987) proponen a los cloroetanos como causa directa de la declinación forestal, ya que el cloroetano se acumula en la capa de lípidos de las células vegetales, principalmente en la membrana de los tilacoides de los cloroplastos, donde se encuentran contenidos los pigmentos esenciales para la fotosíntesis. Lo anterior puede producir el blanqueamiento y amarillamiento de las hojas los cuales son síntomas asociados a la declinación.

Blank *et al.* (1988) relacionó la deficiencia de nutrimentos sobre las plantas junto con la poca disponibilidad de agua como agentes causantes de la declinación forestal, ya que el boro ocasiona un amarillamiento en las hojas y la caída prematura de éstas, además del debilitamiento en general de los individuos vegetales.

En América, especialmente en los Estados Unidos, desde principios de los años sesenta se describió una declinación clorótica en *Pinus ponderosa* Dougl. Ex Laws en las montañas de San Bernardino. A esta enfermedad se le nombró de manera local como la enfermedad "X". Las investigaciones de ese tiempo propusieron que los contaminantes y la sequía o la combinación de ambos factores podían estar relacionados con la presencia de tal fenómeno (Miller *et al.*, 1963).

En 1969 fueron caracterizados los daños producidos por ozono en plántulas de *Pinus virginiana* Mill. (Davis and Wood, 1969). Para 1971 diferentes especies de coníferas habían sido reportadas como dañadas a causa del ozono (Berry, 1971; Miller and Millecan, 1971).

En 1988, Chevone y Linzon, reportaron que otras especies además de *Pinus strobus*, *Picea rubens* Sarg., *Pinus ponderosa* y *P. jeffreyi* Balfour habían sido afectadas por contaminantes, especialmente ozono.

En México desde mediados de los setentas del siglo XX, una sintomatología parecida a la de la declinación forestal fue detectada en *Pinus spp.* (Krupa y Bauer, 1976), sin embargo, estudios realizados posteriormente atribuyeron ésto al efecto de gases oxidantes (Hernández-Tejeda y Bauer, 1984; Hernández-Tejeda y Bauer, 1986).

Actualmente en la República Mexicana uno de los lugares donde se presenta el fenómeno de la declinación de forma muy marcada desde inicios de la década de los ochentas es en el Distrito Federal, en el cual por sus características climáticas, topográficas, de altitud y sobre todo por la alta densidad poblacional que tiene y las actividades que se originan a partir de ésta; se han creado condiciones que han permitido alcanzar concentraciones fitotóxicas de algunos compuestos como el ozono, viéndose afectadas zonas boscosas como El Ajusco, Los Dínamos (en la Delegación Magdalena Contreras) y El Desierto de los Leones (Hernández-Tejeda, 1984; Alvarado, 1989), existiendo hoy en día en este último sitio, manchones con 100% de mortandad de su arbolado conocidos como “Cementerios” (Figura 2).



Figura 2. Muerte del bosque de *Abies religiosa* afectado por el síndrome de declinación forestal en el Desierto de los Leones, D. F., México.

De acuerdo con Alvarado (1989) de 1984 a 1987 aproximadamente el 12% del total de la población de *Abies religiosa* del Desierto de los Leones había sido afectada por el fenómeno de la declinación forestal en diferentes grados llegando en algunos casos a la muerte de los individuos (Figura 3).

En el DDLL se han realizado diversas investigaciones tratando de encontrar una solución al fenómeno que aqueja a la zona y que permita rescatar la vegetación natural. Tales estudios han estado principalmente enfocados a *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*, las dos principales especies en el parque, donde *A. religiosa* es la especie que domina la zona pues ocupa 1,375 ha de 1,529 ha que tiene el parque. Por su parte *P. hartwegii* ocupa las partes más altas en una superficie de 250 ha según Sierra, *et al.* (1988). Los mismos autores mencionan la posible desaparición del oyamel en esta zona en un periodo de tiempo relativamente corto basándose en comparaciones de inventarios pasados con inventarios actuales.



Figura3. Síndrome de declinación forestal en el Desierto de los Leones, D. F.

Los principales síntomas en el follaje del arbolado enfermo en la zona del Desierto de los Leones son la clorosis y el bronceado o enrojecimiento. Para explicar el posible origen del último síntoma, López (1996) sugiere que puede deberse a las bajas temperaturas presentes en el invierno, lo que apoya lo dicho por Harold y Hocker (1984), quien menciona que tal síntoma se debe a temperaturas muy bajas después de un periodo con temperaturas muy cálidas ocasionando el bronceado (Figura 4) y finalmente la muerte del

follaje. Por su parte Finck (1988) menciona que nutrimentos como el fósforo, manganeso y cobre además del potasio (Finck, 1988; Domínguez, 1989) inducen resistencia en las plantas a ser dañadas por efectos del frío. López (1996), después de un diagnóstico nutrimental mediante DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) aplicó fertilizantes en brinzales de oyamel en la zona conocida como “El Cementerio I” logrando una tendencia a la disminución del enrojecimiento en el follaje.



Figura 4. Árbol de oyamel afectado por el síntoma de bronceado o enrojecimiento del follaje.

Para el caso de la clorosis (Figura 5) López y Rivera (1995) proponen que este síntoma se debe a una posible retranslocación de nutrimentos presentes en el follaje viejo hacia los tejidos en desarrollo, motivada por la presencia de ozono en el ambiente. Es importante mencionar que este síntoma sólo se presenta en follaje de un año de edad o mayor de acuerdo a lo observado por López *et al.* (1995) además de los autores antes mencionados. La salida de nutrimentos almacenados en follaje viejo puede ser explicada por la necesidad de carbohidratos y nutrimentos en los tejidos jóvenes. Aunado a esto, al árbol le resulta más fácil, desde el punto de vista de gasto energético, retranslocar elementos almacenados en el follaje que obtenerlos del suelo; en especial si existe una deficiencia de tales elementos en el follaje (Binkley, 1993; Fisher y Binkley, 2000).



Figura 5. Árbol de oyamel con clorosis

El análisis del follaje nuevo de diferentes individuos de *Abies religiosa* del Desierto de los Leones con clorosis indicó una suficiencia de manganeso, mientras que los realizados en follaje viejo perteneciente al mismo tipo de árboles mostraron una insuficiencia del mismo elemento, evidenciando la removilización de este nutrimento (López, 1993). Este investigador también encontró que el inicio de la clorosis coincide con el rompimiento de las yemas lo que refuerza la existencia del proceso de retranslocación de nutrimentos del follaje viejo al nuevo.

Cabe mencionar que en el DDLL existen individuos que parecen haber desarrollado alguna tolerancia a los contaminantes atmosféricos y a otros factores críticos presentes en la zona, ya que no manifiestan sintomatología característica de la declinación forestal.

4.3 ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS

En la actualidad, debido a la presión ejercida por la población humana y la rápida destrucción de los bosques naturales que existe en nuestro planeta, muchas especies vegetales se encuentran amenazadas y en peligro de extinción (Husen y Pal, 2003).

Una de las estrategias que se ha seguido para evitar la pérdida de estas especies vegetales es por medio de su propagación vegetativa, la cual consiste en la reproducción de individuos a partir de porciones vegetativas de las plantas. Esto es posible ya que en muchas de estas partes los órganos vegetativos tienen capacidad de regeneración; de este modo, porciones de tallo tienen la capacidad de formar nuevas raíces (Hartmann y Kester, 1990).

La propagación asexual de árboles se ha enfocado en restaurar con especies nativas zonas en ecosistemas degradados (Abedini y Ruscitti, 1997). Para optimizar este tipo de propagación siempre deben ser elegidos individuos con las mejores características morfológicas y de ser posible también fisiológicas las cuales permitan su clonación por medio de este método de propagación (Poupard, *et al.*, 1994). Frecuentemente se seleccionan plantas jóvenes debido a que el grado de madurez de una planta es un factor que limita la capacidad de propagación vegetativa, en especial para la formación de raíces adventicias (Poupard, *et al.* (1994) y Pierik (1990)). Esto resulta ser un obstáculo en cierto modo pues las características que se desean generalmente son observadas cuando la planta ha alcanzado su madurez (Hartmann y Kester, 1990).

Una alternativa cuando se eligen árboles maduros es tomar muestras de la planta donadora, que se encuentren más cerca de la base del tronco ya que se presenta un gradiente de características juveniles que aumenta hacia la base de la planta, siendo fisiológicamente más joven un meristemo apical en esta parte que uno que se encuentre en la punta de la planta (Bonga, 1982; Haines *et al.*, 1991; Mei-Yuan *et al.*, 1998).

Otros de los aspectos de los que depende el lograr la formación de nuevos individuos a partir de ciertas partes vegetales son la especie, el genotipo, la región donde se colecta la planta a propagar (procedencia), resistencia a enfermedades y plagas, entre otros (Franclet *et al.*, 1987; Lo, 1997).

En una investigación realizada con *Juglans regia* L., una especie comercialmente importante por su alta calidad de madera, sus propiedades farmacéuticas y su valor nutricional en su fruto, se encontró que la pronta formación de callos en la parte basal de la estaca es relacionada con la edad de la planta y cuando éstas fueron tratadas con ácido indol-3-butírico (AIB), además las estacas usadas para propagación vegetativa que tenían

yemas formaron brotes, inhibiendo así la formación de raíces. La forma de asegurar el enraizamiento en estos casos, es eliminando dichas estructuras (Günes, 1999).

Muñoz *et al* (2009) en un estudio realizado en *Taxus globosa* Schlecht tomó en cuenta además de la edad de la planta otros aspectos como la temperatura en el sustrato durante el periodo de enraizamiento y el efecto de hacerles heridas en la base de las estacas; encontrando con respecto a la edad que la menor capacidad de enraizado de las estacas maduras se relacionó con su menor capacidad de supervivencia pudiéndose relacionar a la maduración del material.

Chandra *et al.* (2003) en un estudio con *Poncirus trifoliata* [L.] Raf., encontraron una mejor capacidad de enraizamiento en estacas jóvenes. Al probar el enraizamiento de estacas de 1 a 5 años de edad, las de 1 y 2 años de edad presentaron 100% de enraizado después de 45 días.

Por su parte, Husen y Pal (2003) demostraron que el método de injerto en conjunto con la etiolación también puede causar el rejuvenecimiento en árboles de teca y las estacas obtenidas a partir de estas plantas pueden tener una mayor respuesta de enraizamiento en conjunto con el uso de AIB.

Aunado a lo anterior, existen formas de lograr el rejuvenecimiento de las plantas donadoras de estacas mediante la aplicación de diferentes tratamientos como las podas sucesivas y los injertos (Pliego y Murashige, 1987; Pal, 1993; Husen, 2002; Tetsumura *et al.*, 2002; Abedini, 2005).

Como se mencionó en párrafos anteriores otro de los aspectos a considerar cuando se quiere hacer propagación vegetal de ciertas especies es el uso de auxinas (Nanda y Kochhar, 1984). Dentro de las más usadas son el ácido naftalenacético (ANA) y el ácido indol-3-butírico (Husen y Pal, 2003; Abedini, 2005).

A pesar de las técnicas de propagación que se tienen en la actualidad existen especies que son difíciles de enraizar como los géneros *Abies* y *Quercus*. Para algunas de estas especies el lograr un buen porcentaje de enraizamiento depende también de la época del año en que se inicie el enraizamiento (Hartmann *et al.*, 2002). Amissah y Bassuk (2007) encontraron que la propagación de robles es posible aplicando en estacas la técnica de

etiolación sin embargo, en esta especie el éxito del enraizado también depende de la edad del material utilizado.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Descripción de las áreas de estudio

5.1.1 Parque Nacional Desierto de los Leones

5.1.1.2 Ubicación

Esta área natural fue declarada como Parque Nacional en noviembre de 1917 estando conformado por 1,529 ha (INE, 2001). Forma parte de la unidad geomorfológica denominada Sierra de las Cruces, que a su vez pertenece al Eje Neovolcánico Transversal (Cantoral, 1986). El Parque Nacional Desierto de los Leones se encuentra ubicado al suroeste de la ciudad de México en las coordenadas geográficas 19°15'40'' y 19° 18' 50'' de L.N. y 99°17'45'' y 99°20'00'' de L.O. Se distribuye en un rango altitudinal que va de los 2,700 a 3,700 msnm (González, 2005; Rivera *et al.*, 2006). Esta área natural protegida se encuentra delimitada por los bosques comunales de San Mateo Tlaltenango, Magdalena Contreras, Santa Rosa Xochiac y San Lorenzo Acopilco (Figura 6).

5.1.1.3 Clima

De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1988) el clima que predomina en esta área es el templado subhúmedo con lluvias en verano C(w²) (w) (b') ig. Con una precipitación media anual de 1,200 mm, iniciando la temporada de lluvias en mayo y terminando en octubre y el de heladas de octubre a marzo (González, 2005).

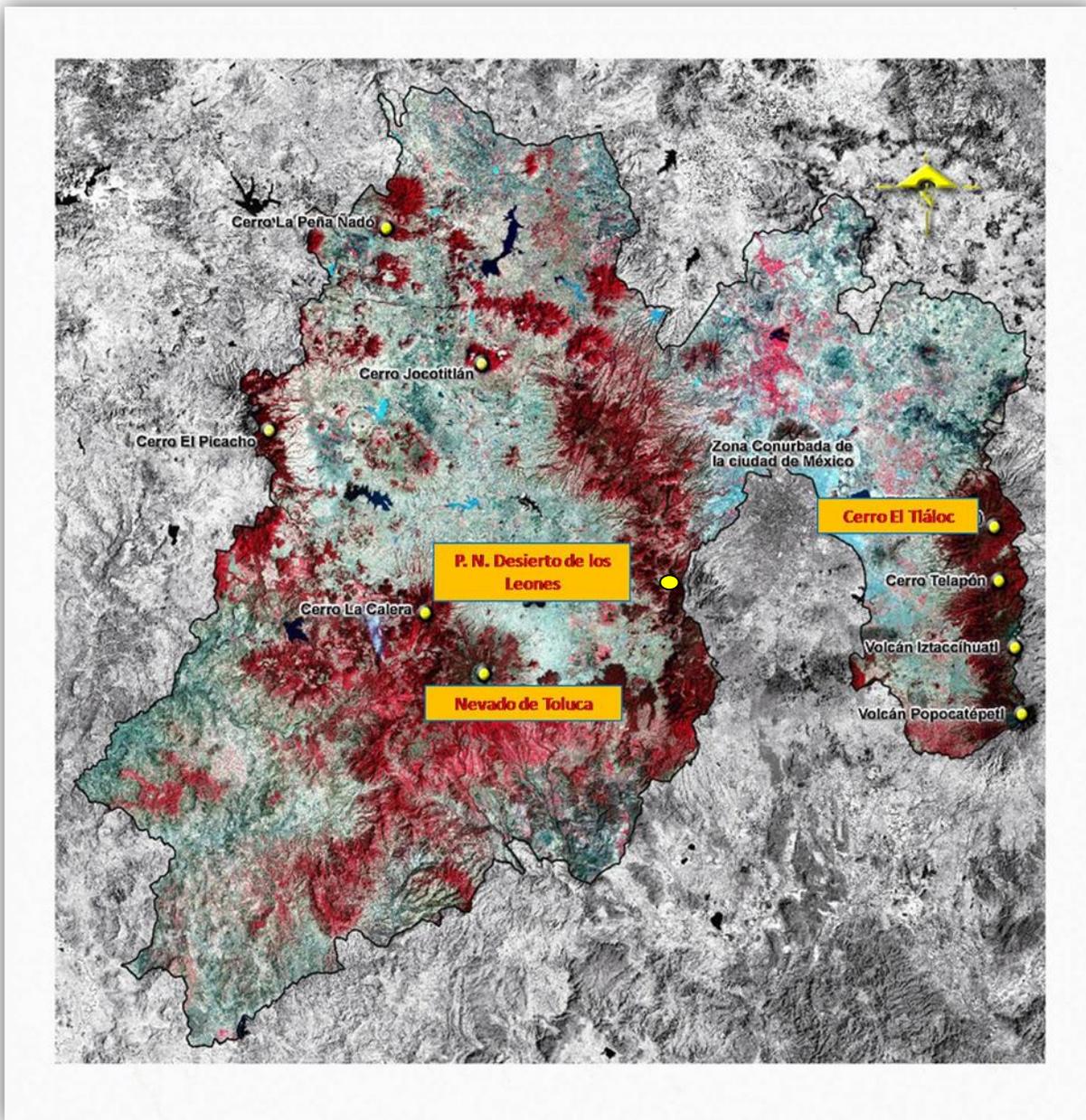


Figura 6. Ubicación del Parque Nacional Desierto de Los Leones, D. F., Cerro El Tláloc y El Nevado de Toluca, México (Tomado de Gio-Argáez *et al.*, 1989).

5.1.1.4 Suelos

La zona donde se encuentra el Parque está conformada por numerosas cañadas y laderas con pendientes entre los 20 y 45 grados. El material parental de esta área pertenece al

grupo de las neovolcánicas, con rocas extrusivas del terciario y posterciarias, especialmente andesitas, que han sufrido una intensa erosión por efecto del agua ocasionada principalmente por procesos de arrastre y hundimiento de las cuales se derivan suelos de origen volcánico, profundos ricos y bien drenados, predominando las andesitas con un pH de 5-7 (González, 2005).

5.1.1.5 Vegetación

De acuerdo con González (2005) la vegetación natural está compuesta en las partes altas por *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*, siendo esta última la dominante en la región. Algunas especies de los géneros *Alnus*, *Garry*, *Prunus* y *Quercus* se distribuyen en las partes bajas del parque. En el sotobosque se encuentran pastos del género *Festuca*, *Muhlenbergia* y *Calamagrostis*; así como arbustos del género *Senecio* y herbáceas del género *Lupinus*. En las partes bajas del parque existen otras especies como *Pinus patula* Schl et Cham., *P. ayacahuite*, *P. montezumae* Lambert, *P. pseudostrobus* Lindley y *Cupressus lusitanica* Mill.; mismas que han sido introducidas y que se han desarrollado de manera exitosa.

5.1.1.6 Fauna

En esta zona se han reportado 57 familias de vertebrados, de las cuales tres corresponden a anfibios, cinco a reptiles, 14 a mamíferos y 35 a aves, con 136 especies en total. Los especímenes colectados se encuentran en el Instituto de Biología y en el Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” de la Facultad de Ciencias de la institución antes mencionada. Las familias mejor representadas son: Phrynosomatidae (Clase Reptilia) con tres especies, Plethidintidae (Clase Amphibia) con cinco especies, Muridae (Clase Mammalia) con siete especies y Parulidae (Clase Aves) con trece especies. Además, en esta zona boscosa se encuentran 30 especies endémicas de vertebrados mismas que representan el 22% de las que han sido reportadas para esta zona. Las clases mejor

representadas son Amphibia y Reptilia con un 100% de endemismos, Mammalia con 18.5% y Aves con 10.6% (Flores, 2010).

5.1.2 Cerro Tláloc

5.1.2.1 Ubicación

Se encuentra ubicado en la región fisiográfica conocida como Sierra Nevada misma que separa las cuencas de México y Puebla y se localiza en las inmediaciones del Estado de México, Puebla y Tlaxcala entre los paralelos 19°26'12.5'' y 19°26'27'' L.N. y los meridianos 98° 45' 26.2'' y 98° 45' 54'' L.O. Esta sierra es del tipo volcánico con estratovolcanes y está orientada de norte a sur. El Cerro Tláloc es uno de los volcanes extintos que forman parte de esta sierra, presentando una altura máxima de 4,120 msnm y sus laderas presentan graves problemas de erosión (Palma, 1996; INEGI, 2001 y González, 2005).

5.1.2.2 Clima

El muestreo se realizó a lo largo del declive occidental del Cerro Tláloc donde de acuerdo con Flores (2010) se tiene un clima templado subhúmedo con tres tipos de precipitación diferentes y con lluvias en verano. En las áreas cercanas a los lomeríos el clima es C (w0) (w) b(i') con una precipitación media anual de 700 mm, esta zona tiene una temperatura media anual de 12 a 18° C; de la zona de lomeríos hacia las estribaciones de la Sierra del Río Frío el clima corresponde a C (w1) (w) b(i') con una precipitación media anual entre 800 y 900 mm y con la misma temperatura media anual que la zona anterior. En las laderas montañosas el clima es de tipo C (w2) (w) b(i') con una precipitación media anual entre 900 y 1,200 mm y una temperatura media anual entre 10 y 14 °C.

5.1.2.3 Suelos

De acuerdo con Flores (2010), los tipos de suelos encontrados en esta región son phaeozem háplico, regosol eútrico, cambisol eútrico, litosol y fuvisol; siendo estos suelos incipientes de textura gruesa en las proximidades del cono cinerítico del Tláloc y en las áreas restantes son negros y profundos, muy ricos en materia orgánica de textura media.

5.1.2.4 Vegetación

Para esta área, se han reportado seis tipos de vegetación: bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de pino-aile-encino, bosque de pino-oyamel-encino, bosque de oyamel y pastizal (Palma, 1996). No obstante, Sánchez y López (2003) han identificado en un estudio más detallado las siguientes comunidades: encinar arbustivo, bosque de encino, bosque mixto, bosque de oyamel, bosque de pino y pastizal alpino.

5.1.2.5 Fauna

Existen pocos estudios sobre fauna en el Cerro Tláloc, sin embargo uno de ellos es el realizado por Espinoza (2006) quien encontró 60 especies de aves agrupadas en seis órdenes y 21 familias. Las familias mejor representadas son Parulidae (17%), Picidae (12%), Turdidae (12%) y Emberizidae (12%).

5.2 Ensayos de enraizamiento

Para lograr el enraizamiento de estacas se realizaron tres ensayos, el primero de los cuales fue establecido en febrero del 2009 y consistió en colocar en una pecera de

vidrio, estacas de *Abies religiosa* procedentes del Desierto de los Leones. En el fondo de la pecera se colocó un sustrato compuesto de tezontle y encima de esta capa se puso una mezcla de turba y vermiculita. Este ensayo se mantuvo con constante humedad por medio de un humidificador además de proporcionarle un riego con atomizador diariamente. Después de tres meses el experimento se desechó debido a que las estacas se pudrieron, probablemente por a un exceso de humedad.

Para la realización del segundo ensayo de enraizamiento se colectaron estacas de *A. religiosa* provenientes de tres zonas circundantes del Valle de México (El Chico, Hidalgo; El Nevado de Toluca y Cerro El Tláloc, ambos lugares en el Estado de México, y del Desierto de los Leones, D. F.) a mediados del 2009. Las estacas se colocaron en la cámara de enraizamiento del Postgrado Forestal del Colegio de Postgraduados (Figura 7) en un sustrato conformado por turba, agrolita, vermiculita y fertilizante de liberación lenta osmocote (N14%, P14% y K14%) Este material se desinfectó antes de introducirse en la cámara de enraizamiento.

Para el segundo ensayo se utilizaron las combinaciones de los siguientes factores: estacas con y sin síntomas de declinación, generadas en dos años (2008 y 2009), con y sin heridas en la base; dos tipos de hormonas vegetales (Rádix 10,000 y Raizone Plus) y remoción de 50 o 100 % de acículas. La combinación de los niveles de todos los factores produjo un total de 32 tratamientos con 50 repeticiones cada uno (2 sintomatologías x 2 edades x 2 tratamientos de heridas x 2 hormonas x 2 porcentajes de acículas= 32 tratamientos). El riego estuvo controlado por un sensor de humedad relativa ajustado a una humedad relativa de 90%. De igual manera se controló la temperatura del sustrato a 18°C aproximadamente. Para evitar la propagación de hongos se aplicó un riego cada tercer día con captan. La humedad y la temperatura fueron monitoreadas diariamente con un dataloger. Después de 4 meses este experimento se desechó, debido a la pudrición del material vegetal, probablemente como consecuencia de las elevadas temperaturas alcanzadas dentro de la cámara en la época en que se colocó el experimento (julio a noviembre).

Finalmente, para el tercer experimento de enraizamiento se colectaron estacas de *A. religiosa* durante el mes de diciembre del 2009 en el Parque Nacional Desierto de los Leones,

D.F. y en el Cerro El Tláloc en Texcoco, Estado de México. Las estacas, procedentes de árboles de entre cinco y siete años de edad, se desinfectaron previamente con una solución de agua con cloro durante un lapso de cinco minutos (4 ml de Cloralex por cada 20 l de agua) antes de ser colocadas en la cámara de enraizamiento. El sustrato consistió en cuatro capas: las tres capas de abajo fueron de tezontle rojo, de las cuales la inferior fue la de material de textura más gruesa y la superior la de textura más fina (Figura 8). Encima de estas capas se colocó la capa de mezcla de turba y agrolita (Figura 9), en la que se establecieron las estacas manteniendo una humedad en el sustrato de 75-80%. Para definir la mezcla de turba-agrolita a utilizar se probaron 5 diferentes proporciones de las cuales, después de evaluada su capacidad de retención de humedad, fue seleccionada la que retenía menor humedad, misma que estuvo conformada por 80% de agrolita y 20% de turba.

De acuerdo con el comportamiento de los ensayos de enraizamiento previamente establecidos, una menor capacidad de retención de humedad del sustrato ayudaría a evitar la propagación de hongos. Tanto el tezontle como la mezcla de turba y agrolita fueron esterilizados en una olla de presión antes de ser introducidos en la cámara de enraizamiento. De igual forma que en los ensayos anteriores, en este ensayo se utilizaron estacas con y sin síntomas, generadas en dos estaciones de crecimiento (2008 y 2009) (Figura 10), a las cuales esta vez se les hicieron tres heridas (Figura 11). Se utilizaron dos productos comerciales con hormonas vegetales (Figura 12): Rádix 10,000 (ácido indol-3-butírico 10,000 ppm) y Rooter QF (Ácido indolbutírico 0.3%, ácido naftalenacético 0.6%, derivados del complejo vitamínico B 0.66%, Concentrado de Ácidos Fulvicos 3.0% y metil 1-butylcarbamoil-0.2%).

Los factores probados se muestran en el Cuadro 1. La combinación de los niveles de todos estos factores produjo un total de 16 tratamientos, los cuales se repitieron 50 veces.

Cuadro 1. Factores y niveles probados para en enraizamiento de estacas de *Abies religiosa*

Factores	Procedencia	Síntomas	Hormona	Año de producción de estaca
Niveles	Desierto de Los Leones	Con	Rádix 10,000	2008
	Tláloc	Sin	Rooter QF	2009

En febrero del 2010 se cambió el sustrato debido a que se detectó la presencia de un hongo. Para su control fue cambiado totalmente el sustrato por uno nuevo, esterilizándolo previamente así como las estacas en una solución de agua con cloro (4 ml de Cloralex por cada 20 l de agua). Una vez esterilizadas las estacas y sustrato, se aplicó nuevamente el tipo de hormona dependiendo del tratamiento al que pertenecieran, siendo colocadas en el mismo orden que se tuvo al principio. Para evitar la propagación de hongos se aplicó captan (en una concentración 1g/1l) cada quince días y a partir de mes de abril el riego con captan se aplicó una vez por semana además de seguir monitoreando la humedad y la temperatura del sustrato.

En el mes de mayo se realizó una revisión de las estacas enraizadas. Se hizo una medición de las raíces y de los brotes aéreos nuevos que habían emergido, creándose una base de datos. A finales del mes de julio se realizó una segunda revisión de las estacas para tener la última evaluación de las mismas.

Para medir la longitud total de raíces se utilizó una hoja milimétrica en la cual se fue midiendo y sumando la longitud de cada una de las raíces, para el caso del volumen de raíces se contó el número de raíces desarrolladas en cada estaca; por su parte para evaluar la longitud de brotes, éstos fueron medidos de cada estaca que presentó dichas estructuras.

5.3. Análisis estadístico

Los datos fueron capturados y organizados en una hoja de Excel. Después fueron exportados al Statistical Analysis System (SAS) para encontrar la relación que pudiera existir entre las estacas enraizadas y el tipo de tratamiento al que habían sido sometidas. Lo que se hizo a través de análisis de varianza y pruebas de Tukey para comparación de medias.

Después de realizada la última evaluación de los efectos de los tratamientos, las estacas enraizadas fueron puestas en tubetes con un sustrato conformado por suelo (50%) y agrolita (50%) además de ser micorrizadas con MycorTree Inyectable el cual contiene

espora de los hongos ectomicorrísico *Pisolithus tinctorius*, *Scleroderma citrinum*, rizobacterias, ácidos húmicos y nutrientes microbianos



Figura 7. Cámara de enraizamiento



Figura 8. Capas de tezontle en la cámara de enraizamiento



Figura 9. Preparación del sustrato



Figura 10. Obtención de estacas de *Abies religiosa*



Figura 11. Realización de heridas en la base de las estacas de *Abies religiosa*



Figura 12. Aplicación de hormona promotora de enraizamiento



Figura 13. Estacas de *Abies religiosa* en la cámara de enraizamiento



Figura 14. Riego por aspersión en la cámara de enraizado

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Época de enraizamiento

De acuerdo a los resultados obtenidos para el presente trabajo la mejor época de enraizamiento de las estacas de *Abies religiosa* fue a principios del mes de diciembre pues en las otras fechas las condiciones climáticas no favorecen el desarrollo de raíces y promueven el ataque de hongos. Este factor puede ser considerado como el principal para lograr el enraizamiento de estacas de la especie estudiada.

Especies como la teca (*Tectona grandis* L.) no muestran tener grado de afectación al enraizar estacas de esta especie en diferentes épocas del año pues el porcentaje de enraizamiento no tuvo variaciones significativas en los ensayos probados en los diferentes periodos (Palanisamy y Subramanian, 2001).

Sin embargo existen especies como el *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh que muestra tener influencia en el enraizado de estacas de acuerdo a la época en que los experimentos fueron establecidos según lo descrito por Navarrete y Vargas (2005). Lo anterior posiblemente puede estar asociado a las condiciones fisiológicas del material vegetal utilizado y a las ambientales presentes al momento de establecer el experimento.

6.2. Análisis general de los efectos de los factores ensayados

6.2.1 Tipo de hormona

De acuerdo con los cuadros 2, 4 y 6; las variables de respuesta, tanto en la evaluación de mayo como en la de julio, excepto la de mayo para el caso de longitud de brotes aéreos; fueron afectadas significativamente por el tipo de auxinas vegetales probadas.

Las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$), indican que todas las variables de respuesta evaluadas tanto en mayo como en julio, la auxina que indujo los mayores valores fue el ácido indol-3-butírico a una concentración de 10,000 ppm (Rádix 10,000; Cuadros 3, 5 y 7). No obstante, en la longitud de brotes aéreos, aunque las mayores longitudes se obtuvieron con la mencionada hormona vegetal, las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

La literatura menciona que el tipo de auxina utilizada para el desarrollo de raíces juega un papel de suma importancia en el enraizamiento de estacas, siendo el ácido indol-3-butírico una de las hormonas más utilizadas (Bielenin, 2003), misma que en el presente estudio mostró la mayor efectividad.

Palanisamy y Subramanian (2001) reportan un porcentaje de enraizamiento del 74 al 100% en estacas de *Tectona grandis* provenientes de plantas madre cuya edad fue de 1,2 y 63 años, dicho material fue tratado con AIB en una concentración de 1,000 ppm.

Chong *et al.* (1992) señalan que la concentración de la auxina para promover el enraizamiento de estacas puede variar entre especies. Hryniewicz-Sudnik *et al.* (1995) reportan que en concentraciones de 0.4-0.8% de esta hormona, se promueve de forma óptima el enraizamiento en estacas de *Thuja occidentalis* L., mientras que una concentración de 0.8% produce buenos resultados en estacas de *Juniperus scopulorum* Sarg.

El ácido AIB según mencionan Aparicio *et al.* (2006) es recomendado para especies de difícil enraizamiento así como para promover el desarrollo de raíces adventicias. En el estudio realizado con esta hormona en árboles de cinco poblaciones de *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa, estos autores reportan un porcentaje de enraizamiento superior al 90%.

El número de raíces se vio favorecido al probar diferentes concentraciones de AIB en estacas de *Gmelina arborea* Roxb. donde casi se duplica el número de raíces al usar una concentración de 2.0 mg g⁻¹ de AIB, probando que la aplicación de esta auxina promueve la formación de raíces adventicias en *Gmelina* (García *et al.*,2005).

Para lograr un mejor enraizado de estacas en *Taxus globosa* Schlecht, Muñoz *et al.* (2009) recomienda el uso de ácido indol butírico a una concentración de 10,000 ppm la cual promovió hasta en un 75% en enraizamiento en estacas de esta especie.

6.2.2 Procedencia

De acuerdo con los Cuadros 2, 4 y 6; las variables de respuesta, tanto en las evaluaciones de mayo y julio, no fueron afectadas significativamente por el lugar de procedencia.

Para el caso de las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$) realizadas, éstas indican que en las variables de respuesta evaluadas tanto en mayo como en julio (Cuadros 3, 5 y 7) tampoco hubo una influencia con respecto al lugar de procedencia.

Cabrera *et al.* (2010) reportaron en un experimento realizado con *Acca sellowiana* (Berg) Burret que la capacidad de enraizamiento de esta especie es altamente variable, depende de cada material genético y es independiente del sitio de procedencia del mismo.

Araya y Benavides (1994) informaron que, la procedencia si tiene efecto en el enraizado de estacas de *Sambucus canadensis* L. (Sauco amarillo) atribuyéndole a razones de transporte que pudo haber tenido el material del lugar de procedencia al sitio donde fue montado el experimento, pues el material que enraizó en menor porcentaje fue de una procedencia más lejana al sitio del experimento.

6.2.3 Edad de la estaca

De acuerdo con los Cuadros 2, 4 y 6; las variables de respuesta, tanto en la evaluación de mayo como en la de julio, fueron afectadas significativamente por el tipo la edad de las estacas.

Las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$), indican que en todas las variables de respuesta evaluadas tanto en mayo como en julio, la edad de la estaca que indujo los mayores valores fue las del año 2009; Cuadros 3, 5 y 7. Lo que coincide con lo dicho por Iglesias *et al.* (1996), al mencionar que un característica fundamental para lograr el enraizado de estacas en especies leñosas es el uso de tejido juvenil, recomendándose utilizar material vegetal joven o rebrotes juveniles de plantas de mayor edad (Chaturvedi *et al.*, 1996; Palanisamy and Kumar,1997).

Diversos estudios han demostrado que la edad del material juega un papel fundamental en el proceso de la formación de raíces adventicias en diversas especies (Bonga, 1982; Hackett, 1988), en el caso de *Acacia mangium* Willd, la propagación de por enraizamiento de estacas sigue estando limitada por la madurez del material que se utilice Poupard, *et al.*, 1994).

Poupard, *et al.* (1994) y Pierik *et al.* (1997) reportaron que el grado de madurez de una planta es un factor que limita la capacidad de propagación vegetativa en especial para la formación de raíces adventicias. Siendo un obstáculo para el enraizamiento de estacas

cuando la planta donadora ha alcanzado su madurez, con una reducción en el crecimiento y en la tasa de enraizamiento; que puede llegar a ser nula algunas veces, debido a una serie de cambios morfológicos en la plantas (Zobel y Talbert, 1988; Haffner *et al.*, 1991).

Los efectos de la edad en estacas de *Taxus globosa* pudieron comprobarse también cuando ésta tuvo efectos significativos en la capacidad de supervivencia, formación de brotes aéreos y enraizamiento en dos ensayos realizados con esta especie. En el primer ensayo se tuvo un porcentaje de 66.3% en estacas jóvenes mientras que en estacas maduras sólo se obtuvo un 17%. Por su parte, en la segunda prueba se obtuvieron porcentajes de enraizamiento de 55.3 y 29.2% en estacas jóvenes y maduras respectivamente probando con estos dos experimentos que para la propagación de *T. globosa* por medio de estacas, es importante utilizar material joven (Muñoz, 2009).

Para diversas especies de *Larix* se encontró que el efecto en el enraizamiento en estacas, tuvo efectos significativos pues a mayor edad la capacidad de enraizamiento decreció de forma lineal afectando también la calidad del sistema radical (Peer and Greenwood, 2001).

6.2.4 Presencia de síntomas de declinación en la estaca

La presencia o no de síntomas de declinación en estacas de *A. religiosa* no tuvo influencia en el enraizamiento, así como tampoco en el número y longitud de raíces ni en la longitud de brotes aéreos. Este aspecto puede estar relacionado con que las hojas con sintomatología presentan una función fisiológica deficiente lo que podría estar evitando la transpiración.

La presencia de hojas en estacas ha demostrado un papel esencial en el proceso de enraizamiento, pues en especies como el *Hibiscus rosa-sinensis* han tenido influencia al incrementar el número de raíces formadas en estacas de esta especie (Van Overbeek and Gregory, 1946). Al igual como en *Ixora coccinea* L. donde la presencia de hojas estimula la producción de raíces (Méndez-Natera *et al.*, 2004). Hartmann *et al.*, (1993) mencionaron que la presencia de hojas estimula la iniciación de raíces pues los carbohidratos translocados de las hojas contribuyen a la formación de éstas ya que las hojas son conocidas por ser productoras de auxinas.

Sin embargo hay especies en las que no se recomienda la remoción del follaje como en *Mimosa scabrella* ya que este estacas de esta especie con hojas produce una mortandad total de las mismas (CATIE, 1990).

A pesar de lo anterior existen especies las cuales pueden enraizar sin la presencia de hojas, por ejemplo estacas de madera dura, por lo que las hojas no son siempre necesarias para el enraizamiento (Sen and Couvillon, 1983).

6.3 Comportamiento de las variables de respuesta

6.3.1 Porcentaje de estacas enraizadas y edad de estaca

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, *Abies religiosa* puede definirse como una especie de difícil enraizamiento pues al tratar las estacas con diferentes métodos tomando en cuenta el tipo de hormona promotora de raíces, la edad del material, lugar de procedencia así como la sintomatología de declinación de la planta madre, sólo se logró un 5.6% de enraizado. Las estacas más jóvenes, pertenecientes al año 2009, fueron las que mostraron una mejor capacidad de enraizamiento (Cuadro 2).

En cambio, hay *Taxa* las cuales pueden ser definidas como especies relativamente fáciles de enraizar como *Gmelina arborea* que de acuerdo a García *et al.* (2005) al probar diferentes concentraciones de AIB se tiene en promedio un 60% de enraizamiento en estacas juveniles de esta especie.

Existen algunas otras especies en las que la edad de la planta donadora de estacas no tiene relevancia pudiéndose alcanzar altos porcentajes de enraizamiento como lo encontrado por Palanisamy y Subramanian (2001) en estacas de *Tectona grandis* provenientes de árboles de 1, 2 y 63 años de edad, donde lograron obtener un enraizamiento entre el 74 y 100%. En este caso no existió diferencia en el potencial de enraizamiento y formación de raíces adventicias en las estacas provenientes de los árboles de diferentes edades. De acuerdo a estos autores esto se debió a la madurez fisiológica característica de los tejidos y al estado nutricional de las estacas.

Cuadro 2. Porcentaje de enraizamiento de estacas de *Abies religiosa* por tratamiento para el mes de julio

Procedencia	Tratamiento	Síntomas	Enraizador	Año	# de estacas enraizadas	%
CT	1	Con	Rádix	2008	0	0.000
CT	2	Con	Rádix	2009	9	1.125
CT	3	Sin	Rádix	2008	0	0.000
CT	4	Sin	Rádix	2009	9	1.125
CT	5	Con	Rooter	2008	0	0.000
CT	6	Con	Rooter	2009	3	0.375
CT	7	Sin	Rooter	2008	2	0.250
CT	8	Sin	Rooter	2009	2	0.250
DDLL	9	Con	Rádix	2008	2	0.250
DDLL	10	Con	Rádix	2009	10	1.250
DDLL	11	Sin	Rádix	2008	0	0.000
DDLL	12	Sin	Rádix	2009	5	0.625
DDLL	13	Con	Rooter	2008	0	0.000
DDLL	14	Con	Rooter	2009	0	0.000
DDLL	15	Sin	Rooter	2008	2	0.250
DDLL	16	Sin	Rooter	2009	1	0.125
Total					45	5.625

CT= Cerro Tláloc DDLL= Desierto de los Leones Rádix= Rádix 10,000 Rooter= Rooter QF

Estudios de enraizamiento en estacas de *Poncirus trifoliata* [L.] Raf. mostraron que la edad de la planta madre donadoras de estacas, influye de manera significativa para un enraizado exitoso ya que al evaluar material vegetal proveniente de árboles de esta especie de 1, 2, 3, 4, 5, 15 y 25 años se encontró que las estacas provenientes de plantas de las dos primeras edades enraizaron al 100%, mientras que en enraizado de las estacas provenientes de plantas de 3 a 5 años disminuyó al aumentar la edad de las plantas donadoras. Por su parte el material proveniente de árboles de 15 y 25 años no presentó enraizamiento (Chandra *et al.*, 2003).

Copes (1977) reportó en un estudio de enraizamiento con estacas de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) donde se utilizaron sólo árboles jóvenes, que este tipo de plantas son fuente de estacas con una gran potencial de enraizamiento.

Una alternativa cuando se tiene plantas adultas es utilizar el material que se encuentra más cerca de la base del tronco, ya que como mencionan Bonga, (1982); Haines *et al.* (1991) y Mei Yuan *et al.* (1998), existe un gradiente de juvenilidad el cual es mayor en la parte basal del árbol.

6.4 Número de raíces

El análisis de varianza muestra que existieron efectos significativos de las fuentes de variación y/o sus interacciones, sobre esta variable de respuesta (Cuadro 3). Para la evaluación del mes de mayo, los factores que influyeron sobre el número de raíces fueron la edad de la estaca ($P= 0.0005$), la hormona vegetal ($P= 0.0028$) y la interacción de estos dos factores ($P= 0.0009$).

En el mes de julio, los efectos de las fuentes de variación ya fueron más marcados. En este caso, la procedencia del material vegetal tuvo influencia sobre el número de raíces ($P= 0.0239$), al igual que la edad de la estaca ($P<0.0001$), el tipo de hormona vegetal ($P=0.0004$) y la interacción edad de la estaca x hormona ($P=<0.0001$) (Figuras 15 y 16).

Es menester hacer notar que el factor síntoma no presentó efectos significativos sobre el número de raíces.

La prueba de Tukey (Cuadro 4) confirma el efecto significativo de la procedencia de las estacas cuando la evaluación del número de raíces se hizo en el mes de julio. Esta prueba indica que la procedencia que indujo el mayor número de raíces fue la de Cerro Tlálóc (0.255 vs. 0.115 raíces por estaca).

La edad de la estaca que produjo la mayor cantidad de raíces correspondió a las estacas generadas en el año 2009; es decir, las estacas más jóvenes que tenían aproximadamente 7 meses de edad al momento de ser colectadas. La edad de la estaca afectó significativamente al número de raíces tanto en la evaluación del mes de mayo como en la del mes de julio (Cuadro 4).

Según la prueba de Tukey (Cuadro 4), el ácido-3-butírico en una concentración de 10,000 ppm es la hormona que indujo el mayor número de raíces de manera consistente tanto en la evaluación de mayo como en la de julio.

Estos resultados sugieren que la procedencia del material vegetal se relaciona con la factibilidad de reproducción vegetativa de *Abies religiosa*. Dado que el fenómeno de declinación en el Cerro Tlálóc está en proceso actualmente (Flores, 2010), existe la posibilidad de reproducir individuos que en esta zona muestren resistencia al síndrome de declinación para ser establecidos en áreas donde el fenómeno es más agudo, tales como el

Desierto de los Leones, donde no hay regeneración natural de la especie y el establecimiento artificial de individuos ha mostrado ser difícil (López, 1993; García *et al.* 1998).

El hecho de que la presencia de síntomas de declinación en el follaje de las estacas no haya tenido efectos significativos sobre el número de raíces resulta interesante por sus implicaciones para la reproducción vegetativa de la especie en las áreas donde se presenta el síndrome de declinación. En efecto, tanto en el Cerro Tláloc como en el Desierto de los Leones y en otras áreas de distribución de *Abies religiosa*, es frecuente encontrar marcados síntomas en el follaje, especialmente el bronceado derivado del moteado clorótico en el envés de las acículas. De acuerdo con los resultados del presente estudio, la presencia de este síntoma no impide el enraizamiento de las estacas si se desea reproducir este tipo de individuos ya sea con fines experimentales o para reforestación en áreas afectadas por declinación de la especie.

De acuerdo con la prueba de Tukey (Cuadro 4), el efecto de la edad de la estaca sobre el número de raíces es alterado por el tipo de hormona que se utilice.



Figura 15. Número de raíces en estacas de *Abies religiosa* tratada con AIB en el mes de julio



Figura 16. Número de raíces en estacas de *Abies religiosa* tratada con ANA en el mes de julio

Cuadro 3. Análisis de varianza del número de raíces producidas en el enraizamiento de estacas de *Abies religiosa*

Fuente	Grados de libertad	En Mayo	En julio
		Pr>F	Pr>F
Modelo	15	0.0008	<.0001
Proce	1	0.6683	0.0239
Ee	1	0.0005	<.0001
Horm	1	0.0028	0.0004
Sint	1	0.3460	0.8716
proce*ee	1	0.2655	0.0633
proce*horm	1	0.5487	0.4190
proce*sint	1	0.5487	0.7465
ee*horm	1	0.0009	<.0001
ee*sint	1	0.5487	0.6861
horm*sint	1	0.6683	0.7465
proce*ee*horm	1	0.7971	0.2256
proce*ee*sint	1	0.3460	0.9356
ee*horm*sint	1	0.2655	0.5716
proce*ee*horm*sint	2	0.7400	0.3553
Error	784		

Proce= Procedencia, Ee= Edad de la estaca, Horm= Hormona y Sint= Sintomatología de declinación

Cuadro 4. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para el número de raíces en el enraizamiento de estacas de *Abies religiosa*

Factor	Mayo Nivel		Julio Nivel	
	1	2	1	2
Proce	0.0675 a	0.0550 a	0.2550 a	0.1150 b
Ee	0.0100 b	0.1125 a	0.0275 b	0.3425 a
Horm	0.1050 a	0.0175 b	0.2950 a	0.0750 b
Sint	0.0750 a	0.0475 a	0.1900 a	0.1800 a

Proce 1= Cerro Tláloc, Proce 2= Desierto de los Leones; ee 1=2008, ee 2= 2009; Horm 1= Rádix 10,00, Horm 2= Rooter QF; Sint 1= con síntomas de declinación, Sint 2= sin síntomas de declinación. Para una fila, medias con diferente letra indica diferencias significativas al 0.05%.

6.5 Longitud de raíces

La longitud de raíces en el mes de mayo se vio afectada por los mismos factores que influenciaron el número de éstas en ese mismo mes, teniendo valores altamente significativos: la edad de las estacas, el tipo de hormona y la interacción de ambos factores. Durante julio la longitud de las raíces formadas estuvo influenciada por la edad de la estaca, el tipo de hormona y la interacción de estos dos factores, siendo más significativo el primer factor con una probabilidad > 0.0001 (Figuras 17 y 18).

El tipo de procedencia, la sintomatología de la estaca y la interacción de estos factores entre si y en combinación con el tipo de hormona y la edad de la estaca no mostraron valores significativos para la longitud de las raíces en las estacas enraizadas en mayo ni en julio (Cuadro 5).



Figura 17. Longitud de raíz en estaca estacas de *Abies religiosa* tratada con AIB procedente del DDL, con síntomas de declinación forestal y procedente del año 2009

Navarrete y Vargas (2005) reportan que diferentes dosis de AIB pueden tener efectos en la longitud de raíces en estacas de *Eucalyptus camaldulensis* pues al aplicar una dosis de 2000 ppm de esta auxina se tuvo un promedio de 6.3 cm en la longitud de las raíces mientras que cuando aplicaron una dosis de 0, 1000, y 4000 ppm la longitud promedio fue de 10 cm.



Figura 18. Longitud de raíz en estaca estacas de *Abies religiosa* tratada con ANA procedente del DDLL, con síntomas de declinación forestal y colectada del año 2009

De igual forma otro estudio con *Gmelina arborea* muestra que la longitud de raíces en estacas de esta especie se ve influenciada dependiendo el tipo de concentración usada de AIB incrementándose hasta en un 25% cuando se utiliza 2.0 mg g^{-1} de AIB indicando que aplicación de esta auxina a esa concentración acelera el crecimiento en longitud de las raíces (García *et al.*, 2005).

Lo anterior lleva a proponer la posibilidad de que en estudios posteriores sobre propagación por estacas en *Abies religiosa* se puedan probar diferentes concentraciones de esta auxina permitiendo evaluar de igual manera que la concentración de esta hormona puede resultar mejor para lograr un promedio mayor en la longitud de raíces.

Por su parte, el efecto de la edad de la estaca y el tipo de hormona son los factores que mostraron tener mayor relevancia en el desarrollo de la longitud de las raíces hasta el mes de mayo, siendo las estacas del año 2009 y el uso de Rádix 10,000 los agentes que favorecieron el parámetro evaluado. Estos mismos parametros fueron determinantes para el crecimiento de las raíces en estacas de *Abies religiosa* durante el mes de julio. La

procedencia y la sintomatología no favorecieron la longitud de raíces en el material evaluado durante las distintas fechas de medición (Cuadro 6).

De acuerdo con Santelices (2005), al utilizar estacas de *Nothofagus alessandrii* Espinosa, la edad de éstas también estuvo relacionada al obtener en promedio 5.8 cm de raíces en estacas no mayores a cuatro años de edad, utilizando una concentración de 0.5% de AIB, siendo un aspecto importante la planta madre de las cuales se obtuvieron las estacas para tal estudio.

Por su parte, Abedini (2005) reportó en el enraizamiento de estacas de *Parkinsonia acuelata* L. que el material tratado con una concentración de 1 y 5 ppm de ANA mostró en promedio tener una longitud de raíces cerca de los 20 cm mientras que las estacas a las cuales que se les había aplicado una concentración de 50 ppm de AIB alcanzaron una longitud promedio de 9 cm, contrario a los resultados obtenidos para las estacas de *A. religiosa*.

Cuadro 5. Análisis de varianza para la longitud de raíces en estacas de *Abies religiosa*

Fuente	Grados de libertad	En mayo	En julio
		Pr>F	Pr>F
Modelo	15	0.0009	<.0001
Proce	1	0.2029	0.0695
Ee	1	0.0018	<.0001
Horm	1	0.0049	0.0011
Sint	1	0.4018	0.5499
proce*ee	1	0.1258	0.1397
proce*horm	1	0.2330	0.3932
proce*sint	1	0.3581	0.4104
ee*horm	1	0.0029	0.0003
ee*sint	1	0.4983	0.4638
horm*sint	1	0.5947	0.2789
proce*ee*horm	1	0.3022	0.2331
proce*ee*sint	1	0.2801	0.3210
ee*horm*sint	1	0.4295	0.3430
proce*ee*horm*sint	2	0.4869	0.0576
Error	784		

Proce= Procedencia, Ee= Edad de la estaca, Horm= Hormona y Sint= Sintomatología de declinación

Cuadro 6. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la longitud de raíces en estacas de *Abies religiosa*

Factor	En Mayo Nivel		EN Julio Nivel	
	1	2	1	2
Proce	0.07225 a	0.03275 a	0.8465 a	0.3748 a
Ee	0.00400 b	0.10100 a	0.0485b	1.1728 a
Horm	0.09625 a	0.00875 b	1.0358 a	0.1855 b
Sint	0.06550 a	0.03950 a	0.5330 a	0.6883 a

Proce 1= Cerro Tláloc, Proce 2= Desierto de los Leones; ee 1=2008, ee 2= 2009; Horm 1= Rádix 10,00, Horm 2= Rooter QF; Sint 1= con síntomas de declinación, Sint 2= sin síntomas de declinación. Para una fila, medias con diferente letra indica diferencias significativas al 0.05%.

6.6 Longitud de brotes

La longitud de brotes medida en mayo al igual que en los casos de número de raíces y longitud de raíces sólo se vio afectada por la edad de la estaca y la interacción de este factor con el tipo de hormona (Cuadro 7). El tipo de auxina por sí sola así como la presencia de síntomas en el follaje de la estaca no tuvieron ningún efecto en la longitud de los brotes, ni la interacción de estos factores entre sí o en conjunto con los dos aspectos mencionados al principio durante la primera medición (Cuadro 7).

Para el mes de julio la longitud de los brotes (Figuras 19 y 20) mostró que los agentes influyentes fueron la edad de la estaca y el tipo de hormona además de la interacción de ambos factores, teniendo un valor altamente significativo de acuerdo con el análisis de varianza. La procedencia, síntomas del follaje, la interacción de ambos agentes o de alguno de estos con los demás no mostraron influir en la longitud de los brotes (Cuadro 7).



Figura 19. Longitud de brotes en estacas de *Abies religiosa* tratada con AIB procedente del DDLL, con síntomas de declinación y generada en el año 2009

En el mes de julio, las estacas más jóvenes generadas en el año 2009, a las cuales se les aplicó Rádix 10,000 mostraron una mayor longitud de brotes de acuerdo con la Prueba de Tukey (Cuadro 8). Por su parte el lugar de procedencia y la presencia de síntomas en el follaje de la estaca no mostraron tener influencia alguna en el desarrollo de los brotes.

García *et al.* (2005) reportaron que para el enraizado de estacas de *Gmelina arborea* se probaron diferentes concentraciones de AIB a partir del producto comercial Rádix 10000, mismas que no influyeron en la longitud de los brotes de dichas estacas teniendo una longitud promedio de 3.5 cm.



Figura 20. Longitud de brotes en estacas de *Abies religiosa* tratada con ANA procedente del DDLL, sin síntomas de declinación generada en el año 2009

Por su parte Quintero *et al.* (2008), reportan que en el enraizamiento de estacas de *Symphoricarpos microphyllus* H.B.K. al utilizar Rádix 10,000, Raizone Plus y un testigo no existieron diferencias significativas en cuanto a la longitud del brote principal en el material de esta especie.

En la actualidad no existe en México ningún reporte de trabajos realizados respecto a la clonación por estacas de *Abies religiosa* el cual se pueda tomar como referencia; sin embargo, según como se cita en la literatura revisada e investigaciones generadas para otras especies y en diferentes países además del nuestro, existen diversos factores que pueden afectar la propagación de esta especie por medio del método utilizado.

Cuadro 7. Análisis de varianza para la longitud de brotes aéreos

Fuente	Grados de libertad	En mayo	En julio
		Pr>F	Pr>F
Modelo	15	0.0061	<.0001
Proce	1	0.3342	0.2622
Ee	1	0.0047	<.0001
Horm	1	0.1061	<.0001
Sint	1	0.9252	0.8573
proce*ee	1	0.2820	0.5805
proce*horm	1	0.5114	0.0794
proce*sint	1	0.0186	0.8317
ee*horm	1	0.0076	<.0001
ee*sint	1	0.8382	0.4346
horm*sint	1	0.3342	0.4423
proce*ee*hor	1	0.8641	0.0203
proce*ee*sint	1	0.3568	0.3756
ee*horm*sint	1	0.1469	0.8470
proce*ee*horm*sint	2	0.2606	0.5321
Error	784		

Proce= Procedencia, Ee= Edad de la estaca, Horm= Hormona y Sint= Sintomatología de declinación

Cuadro 8. Prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para la longitud de brotes aéreos

Factor	En mayo		En julio	
	En Mayo Nivel		En Julio Nivel	
	1	2	1	2
Proce	0.07475 a	0.11850 a	0.21050 a	0.29625 a
Ee	0.03250 b	0.16075 a	0.04075 b	0.46600 a
Horm	0.13325 a	0.06000 a	0.41400 a	0.09275 b
Sint	0.09875 a	0.09450 a	0.24650 a	0.26025 a

Proce 1= Cerro Tláloc, Proce 2= Desierto de los Leones; ee 1=2008, ee 2= 2009; Horm 1= Rádix 10,00, Horm 2= Rooter QF; Sint 1= con síntomas de declinación, Sint 2= sin síntomas de declinación. Para una fila, medias con diferente letra indica diferencias significativas al 0.05%.

7. CONCLUSIONES

Abies religiosa es una especie de difícil enraizamiento ya que sólo 5.5% de las estacas incluidas en el experimento generó raíces.

La época idónea para el enraizado de estacas de *Abies religiosa* es a principios del mes de diciembre, coincidiendo con el tiempo en que esta especie, al igual que todas las coníferas, entra en periodo de latencia.

El enraizamiento de estacas de *A. religiosa* se logra utilizando estacas maduras generadas en el año más reciente, procedentes de individuos jóvenes, cosechadas al inicio del invierno.

El sustrato formado por una mezcla de turba (20%) y agrolita (80%), así como el mantener una humedad relativa de 75-80% facilita el enraizado de estacas de *A. religiosa*.

La procedencia no influye en el enraizado de estacas de *Abies religiosa*.

Las estacas tratadas con ácido indolbutírico tuvieron un mayor porcentaje de enraizado en comparación con el ácido naftalenacético.

La presencia de la sintomatología característica del follaje en árboles afectados por el síndrome de declinación forestal (bronceado y clorosis) no parece tener un efecto en la capacidad de enraizamiento de estacas.

8. RECOMENDACIONES

Para futuros ensayos de enraizamiento de estacas de *Abies religiosa* se recomienda utilizar estacas del último año de crecimiento, provenientes de árboles con una edad no mayor a los 5 años, mismas que deberán desinfectarse previamente.

Es necesario realizar heridas en la base de las estacas así como la aplicación de AIB para inducir la formación de raíces, dicha hormona es la que mejor promueve la formación de éstas en un mayor número.

Para evitar la propagación de hongos en las raíces de las estacas es necesario la aplicación de un fungicida, se recomienda usar captan en una concentración 1:1 g/l. Asimismo, se sugiere tener un especial cuidado con el exceso de la humedad del sustrato, ya que promueve el crecimiento de hongos y moscas.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Abedini, W. y M. Ruscitti. 1997. Aplicación de la biotecnología vegetal para propagar una especie nativa de uso medicinal. II Congreso Mundial de Plantas Aromáticas y Medicinales para el bienestar de la humanidad. Mendoza, Argentina. 210 p.
- Abedini, W. 2005. Propagación vegetativa de *Parkinsonia aculeata* L. por estaquillado. Revista de Ciencias Forestales. 12: 23-33.
- Alarcón M., A., Ma. L. I. De Bauer, J. Jasso M., G. Segura y E. M. Zepeda. 1993. Patrón de crecimiento radial en árboles de *Pinus hartwegii* afectados por contaminación atmosférica en el suroeste del Valle de México. Agrociencia 3: 76-80.
- 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, México. 78 p.
- Alvarado, R. D.; L. I. de Bauer and J. Galindo. 1993. Decline of sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park South of Mexico City. Environ. Pollut. 80: 115-121.
- Alvarado R., D and Hernández-Tejeda T (2002) Decline of sacred-fir in the Desierto de los Leones National Park. In Fenn ME, LI de Bauer, Hernández-Tejeda T (Eds.) Urban air pollution and forests. Resources at risk in the Mexico City air basin. Springer. New York, USA. pp. 243-260.
- Amissah, J. N. and N. Bassuk. 2007. Effect of light and cutting age on rooting in *Quercus bicolor*, *Quercus robur* and *Quercus macrocarpa* cuttings. Combined Proceedings International Plant Propagators Society. 57: 286-292.
- Aparicio R., A.; E. O. Ramirez G. y H. Cruz J. 2006. Multiplicación clonal de *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa a través del establecimiento y manejo de setos para la producción de estacas. Foresta Veracruzana 8 (1): 17-22.
- Araya, J. y J. Benavides. 1994. Efecto de la procedencia, posición en la rama y tipo de siembra en el establecimiento de estacas de Sauco amarillo (*Sambucus canadensis*) en Puriscal, Costa Rica. In: Árboles y Arbustos Forrajeros en América Central. Volumen II P. 423-429.

- Berry, C. R. 1971. Relative sensitivity of red, Jack, and white pine seedlings to ozone and sulfur dioxide. *Phytopathology* 61: 231-232.
- Bielenin, M. 2003. Rooting and gas exchange of conifer cuttings treated with indolebutyric acid. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 11:99-105.
- Binkley, D. 1993. *Nutrición Forestal. Prácticas de Manejo*. LIMUSA. México. 518 p.
- Blank, L. W. 1985. A new type of forest decline in Germany. *Nature* 214: 311-314.
- Blank, L. W., M. Roberts T. and A. Skeffington R. 1988. New perspectives on forest decline. *Nature* 336: 27-30.
- Bravo, A.; R. Sosa E. y R. Torres J. 1991. Ozono y lluvia ácida en la Ciudad de México. *Ciencias*. (Méx.) 22: 33-40. *In*: M. L. Saavedra R. 2001. *Desordenes nutrimentales en rodales de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schltl. et Cham., del Desierto de los Leones*, D. F. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. 94 p.
- Bonga, J. M. 1982. Vegetative propagation in relation to juvenility, maturity and rejuvenation. *In*: *Tissue Culture in Forestry*. J. M. Bonga and D. J. Durzan (eds.). Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk, Publisher, The Netherlands. pp. 387-412.
- Cabrera, D.; P. Rodríguez, B. Vignale y V. Mara. 2010. Avances en la propagación por enraizamiento de estacas semi-leñosas de guayabo del país (*Acca sellowiana* (Berg) Burret). Presentación en 5° Encuentro Nacional sobre frutos nativos. Salto, 25-26 de marzo de 2010.
- Cantoral, H. M. 1986. Comunidades liquénicas epífitas en *Abies religiosa* (H. B. K.) Cham. & Schl. como indicadores de contaminación atmosférica en el Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones. Tesis Profesional. F.E.S. Iztacala, UNAM. México, D. F. 58 p.
- Carnier, L. 1896. Decline in Quebec's forests; Assessment of the situation. Service de la Recherche Applique. Ministere del Energie et des Ressources, Quebec. 30 p.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y en Enseñanza (CATIE). 1990. *Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) Especie de árbol de uso múltiple en América Central*. Serie Técnica. Informe Técnico No. 169. 70 p.

- Chandra, B., R.; F. Mizutani y L. Rutto K. 2003. Effects of juvenility on the rooting of trifoliolate orange (*Poncirus trifoliolate* [L.] Raf.) Stem cuttings. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. 72 (1): 43-45.
- Chaturvedi O., P. A. N. Jha, D. K. Das. 1996. Vegetative propagation of *Acacia auriculiformis* by stem cuttings. Forest, Farm and Community Tree Research Reports. Vol. 1. Department of Forestry, Rajendra Agricultural University. Bihar, India. pp: 41-44.
- Chevone, B. I. and N. Linzon S. 1988. Tree decline in North America. Environmental Pollution 50: 87-99.
- Chong, C., Allen, O. B. and Barnes, H. W. 1992. Comparative rooting of stem cuttings of selected woody landscape shrub and tree taxa to varying concentrations of IBA in talc, ethanol and glycol carriers. J. Environ. Hortic. 10: 245-250.
- Ciesla, W. M. 1989. Aerial photos for assessment of forest decline. A multinational overview. Jour. For. 87 (2) 37-41.
- Clowling, E. B. 1985. Comparison of regional declines of forests in Europe and North America: the possible role of airborne chemicals. In: Proc. Air Pollutants Effects on Forest Ecosystems. The Acid Rain Foundation, St. Paul, MN. pp. 217-234.
- Colbeck, I. and A. R. Mackenzie. 1994. Air pollution by photochemical oxidants. Elsevier Science, Amsterdam The Netherlands. 376 p.
- Copes, D. L. 1977. Influence of rooting media on root structure and rooting percentage of Douglas-fir cuttings. Silvae Genetica 26(2-3): 102-106.
- Davis, D. D. and A. Wood F. 1969. Effects of ozone on Virginia pine (*Pinus virginiana*). Phythopatology 59: 1023.
- Domínguez, V. A. 1989. Tratado de Fertilización 2ª. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 601p.
- Espinoza S., R. 2006. Riqueza y distribución de la avifauna asociada a bosques templados del Cerro Tlálóc, Sierra Nevada, Estado de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. 46 p.

- Fisher, R. and D. Binkley. 2000. Ecology and Management of Forest Soils. John Wiley & Sons, U.S.A. 489 p.
- Francllet A., M. Boulay, F. Bekkaouri, Y. Fouret, B. Verschoore-Martouzet and N. Walker. 1987. Rejuvenation. *In: Cell and Tissue Culture in Forestry. General Principles and Biotechnology.* J. M. Bonga and D. J. Durzan (eds.). Martinus Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands. pp. 232-248.
- Finck, A. 1988. Fertilizantes y Fertilización. Reverté, S. A. Barcelona. 439 p.
- Flores N., P. 2010. Impacto del proceso de declinación sobre la productividad primaria neta en bosques de *Abies religiosa*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. 74 p.
- García A., E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Adaptación a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de geografía, UNAM. México. 245 p.
- García B., R. M.; M. A. López L., A. Velázquez M. y J. Pérez M. 1998. Mycorrhizal and saprotrophic macrofungi in declining sacred-fir stands. *Micología Neotropical Aplicada.* 11:9-21.
- García, R., J. Vargas H., V. Cetina A. y A. Villegas. 2005. Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y tipo de estaca en el enraizamiento de *Gmelina arborea*. *Revista Fitotecnología* 20: 319-326.
- Gio-Argáez, R., L. Hernández-Ruiz y E. Saíñz-Hernández. 1989. Aspectos climáticos de la cuenca del Valle de México. México. Sociedad Mexicana de Historia Natural. Pp: 25-39.
- González R., E. M. 2005. Caracterización espacial de la declinación forestal del oyamel *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. 117 p.
- Günes, T. 1999. An investigation on rooting of *Juglans regia* L. hardwood cuttings. *Journal of Botany.* No. 23: pp. 367- 372.

- Hackett W., P. 1988. Donor plant maturation and adventitious root formation. *In*: Adventitious root formation in cuttings. (Eds. Davis, T. D. Haissig, B. E. and Sankhla, N.) Dioscorides Press, Portland, Oregon: 11-28.
- Haffner, V., Enjalric, F. Lardet, L. and Carron, M. P. 1991. Maturation of woody plants: a review of metabolic and genomic aspects. *Annales des Sciences Forestieres (Paris)* 48:615-630.
- Haines, R. J., C. Wong and E. Chia. 1991. Prospects for the mass propagation of superior selection age phenotypes of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis*. *In*: Breeding Technologies for Tropical Acacias. Tawau, Malaysia. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra. pp: 115-118.
- Harold, W. y J. Hocker. 1984. Introducción a la Biología Forestal. AGT. Editor SA México. 446 p.
- Hartman, H. T. y D. E. Kester. 1990. Propagación de Plantas: Principios y Prácticas. CECSA. México. 760 p.
- Hartman, H. T., D. E. Kester and F. T. Davies Jr. 1993. Plant propagation. Principles and Practices. Fifth edition. New Delhi, India. 647 p.
- Hartman, H. T., D. E. Kester, F. T. Davies, Jr. and R. L. Geneve. 2002. Hartman and Kester's Plant Propagation: Principles and practices. 7th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 880 p.
- Hernández-Tejeda, T. 1984. Efecto de los gases oxidantes sobre algunas especies del género *Pinus* nativas del Valle de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Fitopatología. Colegio de Postgraduados. 109 p.
- Hernández-Tejeda, T. y L. I. de Bauer. 1984. Evolución del daño por gases oxidantes en *Pinus hartwegii* y *P. montezumae* var. *lindleyi* en el Ajusco, D. F. *Agrociencia* 56: 183-194. México.
- Hernández-Tejeda, T. y L. I. de Bauer. 1986. Photochemical oxidant damage on *Pinus hartwegii* at the "Desierto de los Leones", D. F. *Phytopathology* 76(3): 377.

- Hernández-Tejeda, T. y L. I. de Bauer. 1989. La supervivencia vegetal ante la contaminación atmosférica. Centro de Fitopatología. Colegio de Postgraduados. México. 79 p.
- Hinrichsen, D. 1987. The forest decline enigma. What underlies extensive dieback on two continents? *Bioscience* 37 (8): 542-546.
- Hryniewicz-Sudnik J., Sekowski B., Wilczkiewics M. 1995. Rozmnanianie drzew I krzewów nagozalazkowych. PWN, Warszawa, pp.387-403. *In:* M. Bielenin. 2003. Rooting and gas exchange of conifer cuttings treated with indolebutyric acid. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 11:99-105.
- Husen, A. 2002. Physiological effects of phytohormones and mineral nutrients on adventitious root formation and clonal propagation of *Tectona grandis* Linn. F., Ph.D. Thesis submitted to Forest Research Institute, Dehra Dun, India.
- Husen, A. y M. Pal. 2003. Effect of serial bud and etiolation on rejuvenation and rooting cuttings of mature trees of *Tectona grandis* Linn. F. *Silvae Genetica* 52 (2): pp. 83-88.
- Iglesias G., L., M. Alarcón B. y J. A. Prieto R. 1996. La propagación vegetativa de plantas forestales. *Ciencia Forestal*. México. 21: 15-41.
- INE (Instituto Nacional de Ecología), 2001. Acuerdo mediante el cual se instituye el reconocimiento a la conservación de la naturaleza. *Gaceta Ecológica*. No. 061. México, D. F., Pp. 61-62.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2001. Síntesis de Información Geográfica del Estado de México. México. 139 p.
- Jáuregui, E. 1958. El aumento de la turbiedad del aire en la Ciudad de México. *Ing. Hidr. en Méx.* 4 (1958): A77-A81.
- Johnson, A. H., J. Friedland A. and O. Dushoff J. 1986. Recent and historical red spruce mortality; evidence of climatic influence. *Water Air and Soil Pollut* 30: 319-330.
- Krupa, S. V. y L. I. Bauer. 1976. La ciudad daña los pinos del Ajusco. *Panagfa* 4(31): 5-7. México.

- Lo, K. H. 1997. Factors affecting shoot organogenesis in leaf disc culture of African violet. *Scientia Horticulturae*. 72: pp. 49-57.
- López L., M. A. 1993. Evaluación nutrimental de *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones, D. F. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa forestal, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 101 p.
- López L., M. A., M. I. Castañeda G. y A. Velázquez M. 1995. Sistema de evaluación del grado de daño de árboles de oyamel en proceso de declinación. Resúmenes de ponencias. *In: II Congreso Mexicano Sobre Recursos Forestales*. Montecillo. México. pp. 51.
- López L., M. A. y R. Rivera A. 1995. Caracterización nutrimental de follaje de oyamel en proceso de declinación. *In: II Congreso Mexicano Sobre Recursos Forestales*. Montecillo, Edo. de México. P. 50.
- López L., M. A. 1996. Declinación del oyamel del Desierto de los Leones D.F.: Un modelo del proceso. *In: Memorias del II Simposio Internacional y III Reunión Nacional sobre Agricultura Sostenible: Una contribución al Desarrollo Agrícola Integral*. Comisión de Estudios Ambientales y Campus San Luis Potosí del Colegio de Postgraduados. México. pp. 425-431.
- López L., M. A., J. Velázquez M.; A. Velázquez M., V. González R. y V. M. Cetina A. 1998. Estado nutrimental de *Abies religiosa* en un área con problemas de contaminación ambiental. *Agrociencia* Vol. 32 (1): 53-59.
- Madrigal S., X., 1967. Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et. Cham.) en el Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Técnico No. 18. México, D. F. 94 p.
- Manning, W. J. and V. Krupa S. 1992. Experimental methodology for studying the effects of ozone on crops and trees. *In: Surface Level Ozone Exposures and Their Effects on Vegetation*. (ed. A.S. Lefohn), pp: 93-156. Lewis Publishers, Chelsea, MI, USA.
- Manzanilla, H. 1974. Investigaciones epidemétricas y silvícolas en bosques mexicanos de *Abies religiosa*. Dirección General de Información y Relaciones Públicas de la SAG. México. 165 p.

- Martínez, M. 1963. Las Pináceas Mexicanas. Universidad Nacional Autónoma de México. 3ª ed. México, D.F. 400 p.
- Mayen, L. 1987. Evaluación de los efectos de tres tipos de agua en el tiempo y porcentaje de germinación de semillas de oyamel (*Abies religiosa*). Tesis profesional (Ing. Agrícola). FES-Cuautitlán. UNAM. México. 62 p.
- Mayo, J. M. 1987. The effects of acid deposition on forests, Prep. for the Alberta Government-Industry Acid Deposition Research Program by the Department of Biology, Emporia State University, Emporia, Kansas, p. 80 ADRP-B-09-87.
- Mei-Yuan; W. H. Carlson; R. D. Heins and A. C. Cameron. 1998. Determining the duration of the juvenile phase of *Coreopsis grandifolia* (Hogg ex Sweet.) *Gaillardia x grandiflora* (Van Houtte); *Heuchera sanguinea* (Engelm.) and *Rudbeckia fulgida* (Ait.). *Scientia Horticulturae*. 72: 135-150.
- Méndez-Natera, J. R., R. J. Salazar-Garantón, M. A. Dautant, N. Alcorcés de G. y J. Laynez. 2004. Efecto del medio de enraizamiento, número de hojas por estaca y lesionado de las estacas de *Ixora Enana* (*Ixora coccinea* L.) con Hormojardín Nro 4. *UDO Agrícola* 4(1):31-35.
- Miller, P. R., R. Parmenter J., C. Taylor O. and A. Cardiff E. 1963. Ozone injury to the foliage of *Pinus ponderosa*. *Phytopathology* 53: 1072-1076.
- Miller, P. R. and A. Millecan A. 1971. Extent of oxidant air pollution damage to some pines and other conifers in California. *Plant Disease Report*. 55: 555-559.
- Miller, P. R., L. I. de Bauer, A. Quevedo N. and T. Hernández T. 1994. Comparison of Ozone exposure characteristics in forested regions near Mexico City and Los Angeles. *Atmospheric Environment* 28: 141-148.
- Muñoz G., L., J. Vargas H., J. López U. y M. Soto H. 2009. Effect of cutting age and substrate temperature on rooting of *Taxus globosa*. *New Forest* 38: 187-196.
- Nanda, K. K. y K. Kochhar, V. 1984. *Vegetative Propagation of Plants*. Kalyani Publishers, New Delhi. 234 p.

- Navarrete L., M y J. Vargas H. 2005. Propagación asexual de clones de *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH, utilizando rádix en diferentes concentraciones. Revistas Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente. XI (002):111-116.
- Nilsson, S. and P. Duinker. 1987. The extent of forest decline in Europe. Environment 29 (9): 4-31.
- Ortega J., H. 1962. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. y *Pinus hartwegii*. Lindl. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. In: H. Manzanilla. 1974. Investigaciones epidométricas y silvícolas en bosques mexicanos de *Abies religiosa*. Dirección General de Información y Relaciones Públicas de la SAG. México.165 p.
- Pal, M. 1993. Advances made in clonal propagation in India and their potential large scale implementation. In: Proc. of the Reg. Sym. On recent advances in mass clonal multiplication of forest trees for plantation programmes. Cisarua, Bogor, Indonesia. Pp. 151-156.
- Palanisamy, K. and P. Kumar. 1997. Effect of position, size of cuttings and environmental factors on adventitious rooting in Neem (*Azadirachta indica*). For. Ecol. Manag. 98: 277-280.
- Palanisamy, K. and K. Subramanian. 2001. Vegetative propagation of mature teak trees (*Tectona grandis* L.). Silvae Genetica 50 (5): 188-191.
- Palma T., A. 1996. Tipología del uso forestal de la tierra de la región norte de la Sierra Nevada y su cartografía. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. 103 p.
- Palma T., A. 2000. Contribuciones a la metodología del ordenamiento ecológico territorial detallado en México, estudio de caso de dos comunidades rurales de la cuenca del Río Texcoco. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. México. 125 p.
- Peer, K. and Greenwood, M. S. 2001. Maturation, topophysis and other factors in relation to rooting in *Larix*. Tree Physiology. 21: 267-272.

- Pierik, R., L. 1990. Rejuvenation and micropropagation. *In: Progress in Plant Cellular and Molecular Biology*. H. J. J. Nijkamp, L. H. W. Van der Plas and J. Van Aartrijk (eds.) Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, pp:99-101.
- Pierik R., L. M., J. Oosterkamp y M. A. C. Ebbing. 1997. Factors controlling adventitious root formation of explants from juvenile and adult *Quercus robur* “fastigata”. *Scientia Horticulturae*, 71: 87-92.
- Pliego, A., F. and T. Murashige. 1987. Possible rejuvenation of adult avocado by graftage onto juvenile rootstocks *in vitro*. *Hort. Sci.* 22: 1321–1324.
- Poschenrieder, Ch. y J. Barceló Coll. 1985. La muerte de los bosques ¿Tiene la culpa la acidez de la lluvia?. *Cir. Far.* 286: 71-80.
- Poupard, C, M. Chauviere and O. Monteuis. 1994. Rooting *Acacia mangium* cuttings: Effects of age, within shoot position and auxin treatment. *Silvae Genetica*. 43: 226-231.
- Quintero S., A. I.; D. A. Rodríguez T., E. Guízar N. y R. Bonilla B. 2008. Propagación vegetativa de la vara de Perlilla (*Symphoricarpos mycrophyllus*) H.B.K. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Universidad Autónoma Chapingo. Enero-Julio 14 (1): 21-26.
- Rivera A., R., M. A. López L. y R. Campos B. 2006. Nutrición y síntomas de declinación de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. *et* Cham. en el Desierto de los Leones, D.F. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12:145-150.
- Runeckles, V. C. y V. Krupa, S. 1994. The impact of UV-B radiation and ozone on terrestrial vegetation. *Environ. Pollut.* 83:191-213.
- Sánchez G., A. y L. López M. 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología*. UNAM Serie Botánica 74:47-71.
- Santelices, R. 2005. Efecto del árbol madre sobre la rizogénesis de *Nothofagus alessandrii*. *Bosque* 26 (3): 133-136.

- Schutt, P. and B. Cowling E. 1985. Waldsterben, a general decline of forests in Central Europe: Symptoms, development and possible causes. *Plant Disease* 69(7): 548-558.
- Sen S., Mehmet and G. A. Couvillon. 1983. Factors affecting survival of in field rooted hardwood peach cuttings. *HortScience* 18: 324-325.
- Sierra P., A., D. A. Rodríguez T., V. O. Bonilla A., V. Flores R., M. A. González R., C. Olguín C. H. Acosta D. M. P. Ruíz H., R. Valladares M. y F. Gómez Santamaría. 1988. Estructura y dinámica del bosque de oyamel afectado por la declinación forestal en el Desierto de los Leones. COCODER, D. F. 36 p.
- Tetsumura, T., R. Tao and A. Sugiura. 2002. Rooting of cuttings from micropropagated stock plants of *Japanese persimmon*. *J. Japanese Society for Horticultural Science*. 73 (2): 382-384.
- Van O., J., S. A. Gordon and L. E. Gregory. 1946. An analysis of the function of the leaf in the process of root formation in cuttings. *Amer. J. Botany* 33: 100-107.
- Watmough, S. A. and T. C. Hutchinson. 1999. Change in the dendrochemistry of sacred fir close to Mexico City over the past 100 years. *Environ Pollut* 104: 79-88.
- Weiss M., J. and M. Rizzo D. 1987. Forest declines in major forest types of the eastern United States. *In*: "Proceeding of the Workshop on Forest Decline and Reproduction, Regional and Global Consequences". L. Kairiukstis, Nilsson, & A. Stroszak. Eds. JIASA, Luxemburg, Austria. pp: 297-305.
- Zobel, B. J. y J. Talbert. 1988. Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. LIMUSA. México, D. F., México. 505 p.