



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**

**EFFECTO DEL IAB Y TERMOPERIODO EN EL ENRAIZAMIENTO
DE STACAS DE *Taxus globosa* SCHLTDL**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**PRESENTA:
CLAUDIA GÓMEZ SANTIAGO**

**DIRECTOR:
DRA. MARITZA LÓPEZ HERRERA**

A mis padres

Maria Santiago Cruz

Vicente Gómez Colmenares

De los cuales he recibido amor, apoyo y comprensión.

Ustedes me han enseñado que nada es fácil en la vida

pero si me lo propongo puedo lograr lo que desee.

AGRADECIMIENTOS

Le doy las gracias a todas las personas que de una o de otra forma estuvieron conmigo durante toda la carrera y en la realización de la tesis, y de forma muy especial a:

A mi madre María (mamita linda preciosa) por todo el apoyo moral y económico para llegar hasta donde estoy, por todo el amor y los regañones que siempre tuve, aquí esta la prueba de que no me la pase perdiendo el tiempo.

A mi papá (Vicente) por darme la vida y quererme mucho y por todos los días que me traías a la escuela así evitaba gastar dinero.

A mi hermano (Cesarín) porque gracias a su sacrificio (no tanto) yo pude llegar hasta donde estoy.

A mi tía Carmen y a mi primo Leonardo que tuvieron que soportar mis enojos, las desveladas y las luces encendidas toda la noche durante los exámenes.

A todos mis tíos y primos pero en especial a mis tíos Miguel y Rafael Santiago por todo su apoyo desde donde estén, los quiero muchísimo y espero que pronto vuelvan, y la flaca (Jessica Alejandra) al gordo (Leonardo), al güero (Irvin) y al bebé (Miguelito) por alegrarme la vida.

Un **GRACIAS** muy especial a la Dra. Maritza López Herrera directora de mi proyecto de investigación quien contribuyó de manera muy importante en los resultados de este trabajo, gracias por confiar en mi capacidad y por su apoyo dándome siempre palabras de aliento y aconsejándome lo mejor que pudo, sin duda

alguna su optimismo es la mejor enseñanza que pudo dejarme, muchas, muchas gracias.....

A todos los alumnos de la 5ª generación de Biología por compartir esta experiencia con ustedes, Gracias. No puedo dejar de mencionar a mis amigas “Las chicas” porque con ustedes viví grandes momentos de mi vida y me divertí mucho, como olvidar la alegría de Caren, la timidez de Karina, el apoyo de Sony y la sinceridad de Rafita (Rafa). Gracias Rafita por que en cada momento que caía, tú venías y me levantabas, por que nos desesperamos, lloramos y reímos juntas, por nuestras peleas que a final de cuentas nos demostraron que seguimos siendo amigas.

A Oscar Barrón Ruiz por apoyarme incondicionalmente al inicio de la carrera, por regañarme y hacerme entender lo que era correcto y lo que no, por todo lo que compartimos y por tu amistad muchas gracias.

A Dulce María Tapia por ayudarme cuando me encontraba en el Laboratorio de Morfofisiología Vegetal.

Gracias a los sinodales por todos sus consejos para mejorar la realización de esta tesis (Quim. Blanca Estela Pérez, M en C. Miguel Ángel Villavicencio, Dra. Ana Laura López, M en C. Manuel González, Dra. Maritza López, Dr. Arturo Silva y al Dr. Arturo Sánchez).

Finalmente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y a los profesores de la carrera de Biología por ayudarme a cumplir con este objetivo, muy particularmente a la Dra. Ana Laura López por su ayuda y apoyo cuando lo necesite y al Maestro Mario Segura Almaráz porque siempre que necesitamos ayuda “las chicas” siempre estuvo ahí. **MUCHAS GRACIAS.....**

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	<i>i</i>
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. ANTECEDENTES.....	5
2.1 Deforestación Mundial.....	5
2.2 Deforestación en México.....	6
2.3 Deforestación en el Estado de Hidalgo.....	7
2.4 Generalidades de <i>Taxus globosa</i>	8
2.4.1 Distribución geográfica.....	9
2.4.2 Importancia de <i>Taxus globosa</i>	12
2.5 Técnicas de propagación vegetativa.....	14
2.5.1 Propagación vegetativa por estacas.....	14
2.5.2 Tipos de estacas.....	15
2.5.3 Obtención de estacas.....	19
2.5.4 Proceso de enraizamiento.....	20
2.5.5 Lesionado.....	21
2.5.6 Almacenamiento en frío de estacas.....	21
2.5.7 Cuidado de estacas durante el enraizamiento.....	22
2.5.8 Importancia de la propagación vegetativa por estacas.....	23
2.6 Factores involucrados en la propagación vegetativa.....	24
2.6.1 Sustancias promotoras del enraizamiento.....	24
2.6.2 Características de los promotores del enraizamiento.....	25

2.6.3	Condiciones ambientales en el enraizamiento.....	27
3.	JUSTIFICACIÓN.....	30
4.	OBJETIVOS.....	31
4.1	Objetivo general.....	31
4.2	Objetivos particulares.....	31
5.	MATERIAL Y MÉTODO.....	32
5.1	Material vegetal.....	32
5.2	Aplicación del tratamiento hormonal y pretratamiento con frío.....	33
5.2.1	Pretratamiento con frío.....	33
5.2.2	Preparación de sustancias.....	33
5.2.3	Preparación y siembra de estacas.....	34
5.2.4	Preparación de las camas de enraizamiento.....	35
5.2.5	Variables evaluadas.....	35
5.3	Diseño experimental.....	36
6.	RESULTADOS.....	38
6.1	Porcentaje de enraizamiento.....	38
6.2	Número y longitud de raíces.....	40
6.3	Formación de callo.....	40
6.4	Tiempo de respuesta de las estacas.....	42
7.	DISCUSIÓN.....	49
8.	CONCLUSIONES.....	57
	ANEXO I.....	58
9.	REFERENCIAS.....	61

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Figura 1. Distribución mundial del género <i>Taxus</i>	10
Figura 2. Distribución de <i>Taxus globosa</i> en México.....	11
Cuadro 1. Técnicas de estacado.....	17
Cuadro 2. Concentraciones de AIB recomendadas por Macdonald (1986) en función de las características de cada especie.....	26
Cuadro 3. Tratamientos aplicados en estacas de <i>Taxus globosa</i>	37
Figura 3. Porcentaje final de enraizamiento (150 d) en estacas femeninas y masculinas sometidas a dos temperaturas (1° y 25°C) y cuatro concentraciones de AIB (0, 5 000, 10 000 y 20 000 ppm).....	39
Figura 4. Estacas femeninas de <i>Taxus globosa</i> tratadas con 1° C y RADIX® 10 000. (FTM3).....	39
Cuadro 4. Enraizamiento final (150 d), de estacas de <i>Taxus globosa</i> en condiciones de invernadero.....	41
Figura 5. Porcentaje y tiempo de respuesta de las estacas femeninas sometidas a pretratamiento con frío (A) y sin pretratamiento (B) y cuatro concentraciones de AIB: 0, 5 000, 10 000 y 20 000 ppm.....	45
Figura 6. Porcentaje y tiempo de respuesta de las estacas masculinas sometidas a pretratamiento con frío (A) y sin pretratamiento (B) y cuatro concentraciones de AIB: 0, 5 000,	

10 000 y 20 000 ppm.....46

Figura 7. Interacción de sexo de la estaca: femenino (A) y masculino (B)
y el tiempo de evaluación: 90, 120 y 150 d sometidas a un
pretratamiento con frío (1°C).....47

Figura 8. Interacción de sexo de la estaca: femenino (A) y masculino (B)
y el tiempo de evaluación: 90, 120 y 150 d mantenidas a una
temperatura de 25°C, (sin pretratamiento).....48

RESUMEN

Taxus globosa Schltl., es una especie de conífera sujeta a protección especial debido a que produce un pseudoalcaloide efectivo en el tratamiento contra el cáncer por lo que es de esperarse que surja una demanda de esta especie en los próximos años contribuyendo a la disminución de su diversidad.

Una alternativa viable es la propagación vegetativa, así, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de un promotor del enraizamiento (Ácido Indolbutírico, AIB) y un pretratamiento con frío en la generación de raíces y callo en estacas de *Taxus globosa*. Se evaluaron cuatro concentraciones de AIB (0, 5 000, RADIX® 10 000 y 20 000 ppm), dos temperaturas (1° y 25° C) y el sexo de la planta (femenino y masculino) y tres períodos de evaluación: 90, 120 y 150 días.

Los tratamientos empleados permitieron lograr un 56.3% de estacas con formación de raíz, se obtuvo un porcentaje de enraizamiento del 85.7%, con un promedio de 2.6 raíces por estaca. Hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. La concentración de AIB mas efectiva fue la de RADIX® 10 000 con el mayor número de raíces por estaca, y la mayor longitud de éstas. La aplicación del pretratamiento con frío influyó significativamente en la respuesta de las estacas determinándose que si existe una relación entre la concentración de AIB y el termoperíodo en el enraizamiento de estacas femeninas y masculinas de *T. globosa*.

Palabras clave: *Taxus globosa*, Ácido indolbutírico (AIB), termoperíodo, estacas masculinas, estacas femeninas, porcentaje de enraizamiento.

1. INTRODUCCIÓN

Las características fisiográficas y climatológicas de México son bastante heterogéneas, lo cual ha permitido que el país posea recursos forestales diversos. Muchas de las especies vegetales son abundantes y de distribución relativamente amplia, por lo que son susceptibles de aprovechamiento intensivo. Sin embargo, existen también en el país, especies escasas y con una distribución tan restringida que apenas puede tomárseles en consideración como un recurso forestal potencial, aunque algunos de ellos son importantes por su uso medicinal o su carácter genético. Éstas son especies generalmente poco conocidas, cuya importancia permite considerarlas con alta prioridad para su investigación con fines de conservación y posible cultivo tal es el caso de *Taxus globosa*, especie que presenta baja densidad poblacional a pesar de tener poblaciones biológicamente viables y que crece en hábitats restringidos, a los cuales está peculiarmente adaptada lo que genera que sea una especie ecológicamente poco conocida (Zavala-Chávez, 2001).

Hace unos años se inició el estudio de esta especie a fin de conocer, en mediano plazo, su hábitat, el estado actual de sus poblaciones y mecanismos de propagación, así como sus principales aspectos relacionados con la síntesis de taxol, compuesto recientemente aprobado como agente anticancerígeno (Soto *et al.*, 2000). Las especies del género *Taxus*, productoras del anticancerígeno se encuentran en riesgo al ser colectadas para la extracción de taxanos (CONAFOR-CONACYT, 2004), colocando a la especie mexicana *Taxus globosa* en potencial riesgo de

desaparecer. Esto llama la atención debido a que puede ser un recurso genético en peligro si no se logra su conservación *ex situ* y se promueve su permanencia *in situ*.

Aunque la propagación de plantas por semillas es un método natural, en ocasiones el tiempo que se requiere para que alcancen la madurez es largo, de ahí que surja el interés de buscar otras técnicas de multiplicación en especies de interés comercial o para fines de conservación (Hartmann y Kester, 1995).

En los últimos 20 años se han realizado diversos trabajos orientados a encontrar métodos y técnicas que permitan propagar una gran variedad de especies por medios vegetativos. La propagación vegetativa constituye una herramienta importante de apoyo para el desarrollo de programas de mejoramiento genético forestal, encaminado a producir individuos de alto valor genético, conservar genotipos de alto valor económico o en peligro de extinción y multiplicar especies de importancia genética, económica y escénica (Prieto, 1992). En particular, el método de propagación por estacas es una buena alternativa para producir nuevas plantas sin la utilización de semillas, con la finalidad de evaluar los resultados del enraizamiento en estacas de *T. globosa* como una alternativa para su conservación (Díaz *et al.*, 1994).

Una práctica muy utilizada es el enraizamiento por medio de estacas de tallo, la cual es una forma asexual de multiplicación de donde se pueden obtener ciertas características como la uniformidad en el material genético y el acortamiento del período juvenil, así como de las fases de floración y fructificación (Hartmann y Kester, 1995), junto con este método se puede probar la eficiencia del uso del ácido indolbutírico (AIB) y del almacenamiento de estacas a bajas temperaturas (pretratamiento con frío). El uso de las auxinas, en especial el AIB puede garantizar

un buen enraizamiento de las estacas, su aplicación tiene por objetivo promover la iniciación de las raíces, incrementar el número y la calidad de las mismas, aumentar la uniformidad del enraizamiento y reducir el tiempo requerido para el proceso (Sadhu, 1989). Por otro lado, las bajas temperaturas rompen la dormancia de las estacas de coníferas, influyendo directa y positivamente en su prendimiento, por lo tanto mejora el porcentaje de enraizamiento ya que el frío remueve los inhibidores teniéndose como resultado que los cofactores del enraizamiento promuevan la formación de raíces (Driessche, 1983; Gonçalves *et al.*, 2004).

Una característica a tomar en cuenta es que *T. globosa* es una especie dioica, es decir que se pueden encontrar árboles que poseen únicamente estructuras femeninas y árboles que desarrollan estructuras masculinas (Nuñez y Rovere, 2005), considerando que los atributos fisiológicos específicos de cada sexo pueden ser decisivos a la hora de explicar las diferencias de crecimiento y distribución de recursos (Obeso y Retuerto, 2002) y que los sexos pueden diferir en la cantidad de recursos asignados a la reproducción, se sabe además que el sexo femenino es el que generalmente realiza la mayor inversión reproductiva se hace necesario la realización de estudios para conocer el grado de respuesta de las estacas de acuerdo con el sexo (Nuñez y Rovere, 2005).

2. ANTECEDENTES

2.1 Deforestación Mundial

La deforestación es el elemento de las relaciones dinámicas entre las culturas, sus respectivas tecnologías y las características del medio ambiente y no solo el resultado de la acción evolutiva del hombre (Keyes, 1996). Sin embargo, en las últimas décadas, las actividades humanas se han convertido en el principal desencadenador de la transformación de los ecosistemas (Velázquez *et al.*, 2002) en la cual la deforestación juega un papel importante. Se estima que la pérdida de los bosques desde los albores de la humanidad a la actualidad es de un tercio a casi la mitad de la superficie total original agudizándose el proceso los últimos siglos al aumentar cuatro veces la población y desaparecer más superficie forestal que en toda la historia de la humanidad (Cincotta *et al.*, 2000).

Para el período 1964-1973 se calculó en 21 has por minuto la deforestación de los bosques tropicales en el mundo, lo que significó una pérdida anual de once millones de hectáreas (Velásquez *et al.*, 2002) siendo África y América del Sur las regiones con mayor pérdida (FAO, 2005), un caso dramático es el de América Latina con 12.2 millones de has al año (Keyes, 1996). Según la FAO (2005) se estima en 3 780 millones de has la superficie de los bosques en el mundo de los cuales el 95% corresponde a bosques naturales y el 5% a plantaciones forestales, la deforestación y su degradación afectan negativamente la disponibilidad de los bienes y servicios forestales que proporcionan. En todo el mundo, más de un tercio del área total de bosques son primarios (bosques de especies nativas sin presencia de actividad

humana), y el rápido descenso de ellos se debe a la deforestación, a la modificación de los bosques por la extracción selectiva de madera y a las intervenciones humanas. En todo el mundo se están haciendo esfuerzos en favor de la ordenación forestal sostenible, un enfoque que establece un equilibrio entre los objetivos sociales, económicos y ambientales, y ello ha provocado cambios en la política y la legislación forestal en muchos países; en el campo, se están modificando los objetivos de ordenación y las prácticas silviculturales y, al mismo tiempo han comenzado a intervenir nuevas instancias en la planificación y manejo de los bosques (FAO, 2001).

2.2 Deforestación en México

México es considerado como un país megadiverso, cuenta con una extensión de 1'964,375 km², con una superficie continental de 1'959,248 km² y una insular de 5, 127 km²; ubicándolo como el decimocuarto país con mayor territorio en el mundo (CONAFOR, 2001). Presenta grandes extensiones forestales con más de 600.000 km² que representan el 30% de la superficie (Mas *et al.*, 2002), cuenta con una gran diversidad de especies forestales, posee el mayor número de especies de pinos, pese a esto, en los últimos años ha sufrido un incremento en la deforestación siendo la causa principal el cambio de uso de suelo (Serrano, 2002).

La constante degradación de los recursos forestales se relaciona principalmente con las malas prácticas de manejo las cuales han contribuido a la sobreexplotación de los recursos (CONAFOR, 2001), de acuerdo con la SEMARNAT, el total de superficie deforestada entre el período 1993-2000 fue de 7 894 921 has, con una tasa anual de 1 127 845 has, que oscila entre el 1 y el 10.4% según la región, lo que

coloca a México como uno de los países con los índices más altos de deforestación (Serrano, 2002; Velásquez *et al.*, 2002).

Entre las principales causas de degradación y deforestación de los bosques se encuentran los incendios, la política agropecuaria, (encargada de fomentar las actividades agrícolas y ganaderas en áreas forestales), la tala clandestina, (resultado de la adquisición ilegal de madera para el sector industrial y la corrupción); las plagas, las enfermedades forestales y al cambio de uso del suelo. Como resultado de la deforestación y degradación de los ecosistemas surge la erosión, sedimentación de lagos y ríos, generando con ello una disminución en la captación de agua y la recarga de mantos acuíferos, provocando inundaciones y reducción del potencial productivo por la pérdida de fertilidad del suelo. La superficie bajo riesgo por plagas y enfermedades forestales se calcula en 10 millones de ha, lo que hace necesario considerar la salud forestal como parte del manejo sustentable de los recursos forestales (CONAFOR, 2001).

2.3 Deforestación en el Estado de Hidalgo

El estado de Hidalgo tiene una extensión de 20, 987 Km. equivalente al 1.07% de la superficie nacional y cuenta con una alta diversidad florística estimada en 4, 000 especies de fanerógamas (Villavicencio y Pérez, 1995). En el estado esta representado el 13.5% de las especies de la flora nacional y se encuentran 6 de los 10 tipos de vegetación registradas por Rzedowski en 1978 para México. La flora de la Sierra de Pachuca ha recibido fuertes presiones antropocéntricas provocando que actualmente un gran número de especies se encuentren en grave riesgo de desaparecer. Los principales factores de amenaza son el aprovechamiento intensivo

de los bosques, asociado en ocasiones al acelerado crecimiento de la Ciudad de Pachuca y algunas localidades serranas, a la apertura de nuevas carreteras y caminos, así como al sobrepastoreo y el desmonte para la agricultura, las excursiones y la falta de información sobre la importancia de la biota silvestre regional y estatal (Medina-Corta y Barrios-Rodríguez, 1997). De acuerdo con la CONABIO (2006), el estado de Hidalgo presenta un alta deforestación junto con los estados de Oaxaca, Guerrero, Campeche, Zacatecas, Estado de México, Nuevo León y Sinaloa perdiendo anualmente una tasa de entre 0.2 y 0.5% de la vegetación natural remante que tenía en 1973.

En particular el Parque Nacional El Chico presenta problemas como la tala clandestina, la extracción de tierra de monte, el sobrepastoreo y los asentamientos humanos. Debido a que resulta una localidad idónea para la recreación se ve afectada por los incendios forestales provocados, la cacería furtiva y un exceso de basura causando la degradación del suelo del Parque lo que provoca una disminución en la regeneración de los bosques (Vargas, 1984 y 1997).

2.4 Generalidades de *Taxus globosa*

Taxus es una gimnosperma que pertenece al orden de los Taxales, y a la familia Taxaceae, agrupa 10 especies de plantas leñosas en el mundo, todas las cuales se encuentran distribuidas de manera restringida (Cope, 1998), en México, se conoce una especie representativa y endémica, *Taxus globosa* (Anexo I), conocida comúnmente como granadillo, romerillo, Palmira y tlascal y al igual que las distintas especies de *Taxus* es utilizada comúnmente como leña, para producir carbón o como ornamento (Zamudio, 1992; Zavala-Chávez, 2001). Es una de las cuatro especies de

Taxus existentes en América (Cope, 1998), es escasa a pesar de tener poblaciones biológicamente viables; además de que crece en hábitats restringidos, a los cuales está peculiarmente adaptada y ello genera que también sea una especie ecológicamente poco conocida (Zavala-Chávez, 2001). Fue descrita en 1838 por el botánico alemán Diederich Franz Leonhard von Schlechtendal, el material que colectó provenía de la localidad de Guajolote, Real del Monte, México (Soto *et al.*, 2000; Shemluck *et al.*, 2003).

En su descripción Schlechtendal considera a *T. globosa* como una especie muy similar a la especie europea *T. baccata*, sin embargo *T. globosa* se distingue por sus hojas más largas y delgadas, agudas, claramente falcadas y por la semilla ovoide más gruesas (Zamudio, 1992; Shemluck *et al.*, 2003). Hay una gran variedad de características que se utilizan para distinguir a *T. globosa* del resto de las especies pertenecientes a la misma familia como, la longitud y ancho de la hoja, color de la hoja, color de las ramas, presencia de una quilla dorsal en la hoja, forma del ápice de la hoja, disposición de los brotes, forma de los brotes en escala y forma de brotes enteros (Shemluck *et al.*, 2003).

2.4.1 Distribución geográfica

Hartzell (1991) menciona que los individuos de *Taxus* se distribuyen a lo largo de las zonas templadas del hemisferio norte: Asia y América del Norte, en altitudes que van de los 1500 a 3000 m (Fig. 1). En Asia *Taxus wallichiana* se localiza en Afganistán, Tíbet, China, India, Filipinas y Birmania; *T. cuspidata* en Japón, Corea y Manchuria y *T. chinensis* al este de China (Zavala-Chávez *et al.*, 2001). En Europa predomina *Taxus baccata* desde las islas Británicas, en la península Escandinava, hasta la

cuenca del Río Amur en Rusia (Hartzell, 1991).



Figura 1. Distribución mundial del género *Taxus* (Hartzell, 1991).

En América del Norte, *Taxus brevifolia* se distribuye desde el norte de California hasta la cuenca del Río Snake en Alaska; *Taxus floridiana* en el Noroeste de Florida; *Taxus canadiensis* desde Manitoba hasta el sureste de Virginia así como en Indiana y el Norte de Dakota y *Taxus globosa*, se localiza desde la parte central del Estado de Nuevo León y Tamaulipas, pasando por la Cuenca del Golfo y Eje Neovolcánico Transversal en México, hasta Guatemala y el sur de Honduras en Centroamérica (Pérez, 2000; Soto *et al.*, 2000; Yáñez, 2000; Zavala-Chávez *et al.*, 2001).

En México su distribución incluye siete sitios en Nuevo León, tres en Tamaulipas, uno en Veracruz, cinco en Oaxaca y tres en Hidalgo (Shemluck *et al.* 2003) en Mineral el Chico, Eloxochitán y Tlahuelompa (Alcántara y Luna, 2001), también se encuentra en San Luís Potosí, Querétaro (Guerrero, 1997) y Chiapas

(Contreras-Medina y Luna, 2001) (Fig. 2); en Centro América se encuentran cuatro sitios en Guatemala, uno en El Salvador y cuatro en Honduras; el intervalo latitudinal es de 25°30' norte a 14° 21' norte y el intervalo altitudinal es de 3333 m en la porción sur, en Guatemala, a 1050 m en Tamaulipas (Shemluck *et al.*, 2003).



Figura 2. Distribución de *Taxus globosa* en México (CONABIO, 2005).

En el Parque Nacional El Chico las poblaciones de *Taxus globosa* se localizan a lo largo de cañadas, pero no en contacto directo con el agua, a altitudes que van de 2,530 a 2,710 m, en suelos ligeramente ácidos. En los sitios de mayor altitud se encuentran en bosque de oyamel con pendiente de 10 a 60° y altitudes de 2,630 a 2,710 m interactuando con *Quercus glabrescens*, *Q. laurina*, *Prunus serotina* y *Buddleia parviflora*. En sitios de menor altitud con pendientes de 40 a 60° a altitudes

de 2,530 a 2,580 m se encuentran en bosque de encino o bosque de oyamel encino, interactuando con *Q. glabrescens*, *Abies religiosa*, *Cornus disciflora*, *Ilex tolucana*, *Oreopanax xalapensis*, *Prunus serotina* y *Arbutus xalapensis*. (Zavala-Chávez, 2001).

2.4.2 Importancia de *Taxus globosa*

Las características tanto fisiográficas como climáticas de México permiten que se encuentren diversos recursos forestales de gran abundancia y de amplia distribución haciéndolos propensos al aprovechamiento forestal intensivo, sin embargo también existen especies que no son muy comunes, de distribución restringida no consideradas como recursos forestales potenciales pero que tienen gran importancia medicinal y de carácter genético (Zavala-Chávez, 2001).

La importancia de *T. globosa* radica en que a partir de la corteza y el follaje de la planta se obtiene el pseudoalcaloide diterpénico taxol, metabolito secundario utilizado en el tratamiento de cáncer cérvico uterino y cáncer ovárico (Soto *et al.*, 2000, Zavala-Chávez, 2001), y Shemluck *et al.* (2003) consideran que *T. globosa* contiene niveles de taxol superiores comparándola con otras especies como *T. baccata*, *T. brevifolia*, *T. cuspidata*, *T. media* y *T. floridana*.

Está catalogada como una especie sujeta a protección especial en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, sin embargo aún se carece de información exacta que sustente una propuesta definitiva acerca de su categoría de riesgo, no existe mucha documentación acerca de su descripción y es una especie considerada extremadamente rara en cultivo además de que los conocimientos sobre sus

aspectos biológicos como el ciclo reproductivo, los mecanismos de dispersión y su dinámica poblacional aún son escasos (Zavala-Chávez, 2002).

En el estudio realizado en el 2001 por Zavala-Chávez se registraron en el Parque Nacional el Chico un total de 251 individuos de la especie donde se observaron 75 adultos que señalan la escasez de la especie encontrándose 33 individuos femeninos y 42 masculinos que indica un leve dominio de los individuos masculinos sobre los femeninos. La cantidad de individuos femeninos es pequeña para considerar un incremento de la población de manera natural ya que la producción de semillas es escasa generando de 14 a 40 semillas por árbol. Zavala-Chávez también observó la presencia de individuos huecos o con indicios de pudrición en el tallo probablemente a causa la caída de los árboles por efecto del viento que es común e intenso en los sitios donde crece la especie lo que agrava la situación de ésta en el Parque, aunque probablemente exista propagación artificial debido a que se tienen registrados individuos ya caídos con formación de brotes (Zavala-Chávez, 2001).

De acuerdo con Zavala-Chávez (2002), en el Parque Nacional El Chico, son pocas las semillas generadas por los individuos adultos ya que en el año 1999, se recolectaron entre 6 y 15 semillas maduras por árbol además hay que tomar en cuenta que existen registros de arilos sin semilla y semillas sin arilo en el piso bajo la copa de los adultos femeninos lo cual podría considerar la presencia de dispersores o depredadores de las estructuras reproductoras. También observó que existen pocas semillas en el piso del bosque, lo que indica la escasa cantidad de éstas que escapan de la depredación por lo que la incorporación de plántulas para el mantenimiento de la población contribuyen muy poco.

Zavala-Chávez (2002), estima que 2,439 semillas maduras de *T. globosa* pesan un kilogramo, por lo que aparentemente las semillas de *T. globosa* son más pequeñas que las de otras especies de la misma familias como *T. canadensis* donde 19 000 semillas equivalen a un kilogramo. También hay que considerar que la mayor parte del peso de las semillas de *T. globosa* se debe a la cantidad de agua que poseen (90% de su peso).

2.5 Técnicas de propagación vegetativa

La propagación vegetativa consiste en la multiplicación asexual de individuos que resulta en una progenie genéticamente idéntica a la planta madre, esta reproducción asexual puede hacer posible que una especie se expanda rápidamente y con bajo costo a un ambiente al que se encuentra bien adaptada, la multiplicación se da gracias a que cada célula de la planta contiene la información genética necesaria para generar una planta completa nueva (García-Orth, 2002).

Para una exitosa propagación es necesario conocer la estructura y desarrollo de la planta así como la técnica adecuada para su propagación, la cual debe seleccionarse en relación con las respuestas de la especie que se propaga y la situación en que se efectúa (Hartmann y Kester, 1990).

2.5.1 Propagación vegetativa por estacas

La propagación vegetativa por estacas es un método asexual que consiste en separar un fragmento vegetal, mantenerlo vivo y conseguir que se regenere. Este sistema permite que las futuras plantas mejoradas, sean inmediatamente incorporadas a los sistemas de producción (Henriquez, 2004). Una estaca es la parte

que es separada de la planta madre para forman un clon idéntico a la misma, se obtienen de partes vegetales de las plantas, como tallos, tallos modificados (rizomas, tubérculos, cormos y bulbos), de hojas o raíces (García-Orth, 2002).

Este método es el más importante para propagar arbustos ornamentales, árboles frutales y plantas de ornato con flores convirtiéndose en el método principal de reproducción clonal en países como Venezuela, Costa Rica, Brasil, Sudáfrica, Portugal y el Congo y su éxito se relaciona con el tamaño y tipo de estacas, al medio de enraizamiento y al uso de reguladores del crecimiento (Iglesias *et al.*, 1996; San Miguel *et al.*, 1999; García-Orth, 2002), ya que garantiza una rápida y fácil reproducción de los caracteres de la planta madre en una gran cantidad de descendencia (Doll *et al.*, 2003).

2.5.2 Tipos de estacas

De acuerdo con la parte de la planta de la que se obtienen las estacas, éstas se pueden clasificar en:

1. Estacas de tallo
 - a. De madera dura (deciduas y siempre-verdes de hoja angosta).
 - b. De madera semidura
 - c. De madera suave o herbáceas
2. Estacas de hojas
3. Estacas con hojas y yemas
4. Estacas de raíz

1. Estacas de tallo

Las estacas de tallo son el tipo más importante de propagación por este método y se pueden obtener a partir de madera dura, madera semidura, madera suave y tallos herbáceos (Cuadro 1), un gran número de especies de plantas han sido propagadas por este medio (Relf y Ball, 2001). En este tipo de propagación se obtienen segmentos de ramas que contienen yemas terminales o laterales, para lograr un óptimo enraizamiento en algunas plantas donde es de gran importancia la madera y la etapa de crecimiento en que se toma para hacer las estacas así como otros factores (Peña, 1995).

2. Estacas de hojas

En este tipo de estacado se utiliza el limbo de la hoja, de la planta madre se remueven las hojas nuevas plenamente expandidas y se colocan con el haz cara abajo para cortar en cuadrados de 2 cm, la hoja se inserta verticalmente sobre un sustrato de buen drenaje con el corte basal hacia abajo. Las raíces suelen desarrollarse en un período de 2 a 6 semanas aproximadamente, como *Valdivia gayana* que es un raro ejemplo de una planta leñosa que puede ser enraizada a través de estacas de hojas, siendo este un método de propagación comúnmente restringido a especies de plantas herbáceas (Hechenleitner *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Técnicas de estacado

TIPO DE MADERA	FUENTE	TAMAÑO DE LA ESTACA	RECOMENDACIONES	VENTAJAS
Madera dura (especies deciduas)	Parte madura de la planta, cuando las hojas han caído y antes que aparezcan nuevos brotes en primavera.	10-75 cm de longitud con al menos dos nudos y un diámetro de 0.6 a 2.5 cm o hasta 5 cm.	Deben tomarse de una planta madre sana que presente vigor moderado y que crezca a plena luz del sol. Las mejores se obtienen de la parte central y basal de la planta.	Son fáciles de propagar, no se echan a perder con facilidad y durante su enraizamiento requieren de muy poco o ningún equipo especial.
Madera dura (siempreverdes de hoja angosta)	Ramas terminales maduras del crecimiento de la estación anterior.	10-20 cm de longitud con un trozo de madera vieja en la base.	Quitar todas la hojas de la parte inferior, se deben hacer enraizar en ciertas condiciones para prevenir deshidratación excesiva ya que son lentas para enraizar por lo que es recomendable un tipo de lesionado basal y tratamiento con altas concentraciones de AIB.	-----
Madera semidura	Especies leñosas, siempreverde de hoja ancha. Puntas de las ramas o las partes basales del tallo.	7.5-15 cm de longitud.	Deben tener hojas en la parte superior, si las hojas son muy grandes debe reducirse el tamaño para evitar un exceso en la pérdida de agua.	-----
Madera suave	Ramas laterales que presenten cierto grado de flexibilidad pero suficientemente maduras para romperse cuando se les dobla demasiado, de crecimiento nuevo, succulento de primavera de especies deciduas o siempreverdes.	7-12 cm con dos o más nudos.	Mantener en la base de las estacas una temperatura de 23 a 27° C y de 21° C en el ambiente, se deben dejar las hojas de la parte superior por lo que se requiere cuidado para evitar la deshidratación.	Por lo general enraízan con mayor facilidad y rapidez en comparación con otro tipo de estacado pero requieren más cuidado y equipo.
Herbácea	Plantas succulentas y herbáceas	7-12 cm de longitud.	Necesitan de humedad elevada y aunque no se necesitan promotores del enraizamiento se suelen utilizar para obtener uniformidad en el enraizamiento y desarrollo de abundante sistema radical.	En condiciones apropiadas enraízan rápidamente y en alto porcentaje.

3. Estacas de hojas con yemas

Para este tipo de estacado se utiliza la lámina de una hoja, el pecíolo y una corta porción del tallo que lleva una yema axilar la cual estando en la base del pecíolo da origen al nuevo brote. Las estacas de hoja con yema son sumamente valiosas cuando el material de propagación es escaso debido a que con la misma cantidad de material materno se puede obtener el doble de plantas nuevas que si se hicieran estacas de tallo. Las estacas se insertan en el medio de enraizamiento, colocando la yema a una profundidad de 1.5 a 2.5 cm, es esencial la humedad elevada y el calor en el fondo es conveniente para lograr un rápido enraizamiento (Hartmann y Kester, 1990).

4. Estacas de raíz

Para este tipo de estacado se obtienen mejores resultados si la raíz seleccionada se toma de plantas madre jóvenes al final del invierno o principio de la primavera cuando las raíces están bien provistas de alimento almacenado. Es importante que al plantar las estacas de raíz se mantenga la polaridad correcta debiéndose plantar siempre con el extremo proximal hacia arriba (el más cercano a la corona de la planta). Para la plantación se inserta la estaca verticalmente para que el extremo superior quede a nivel del suelo, sin embargo, en muchas especies se obtienen buenos resultados colocando las estacas en posición horizontal a una profundidad de 2.5 y 5 cm (Hartmann y Kester, 1990).

2.5.3 Obtención de estacas

Para la propagación por estacas es muy importante el origen del material vegetal, la planta madre de la cual se obtienen las estacas debe tener las siguientes características: estar libre de enfermedades y plagas, y encontrarse en estado fisiológico adecuado, de manera que las estacas tengan probabilidad de enraizar.

La nutrición de la planta madre puede ejercer una fuerte influencia en el desarrollo de raíces y tallos de las estacas, este efecto puede asociarse con la relación carbohidratos/nitrógeno. Los factores internos, como el contenido de auxinas, de cofactores de enraizamiento y las reservas de carbohidratos pueden, influir en la iniciación de raíces de las estacas. La selección del material adecuado para estacas, en cuanto a contenido de carbohidratos se puede determinar por la madurez del tallo, aquellas que son pobres en carbohidratos están suaves y flexibles mientras que las que son ricas en carbohidratos son macizas y rígidas (Hartmann y Kester, 1990).

Son muchos los factores que condicionan el éxito en el proceso de enraizamiento, uno de los más importantes es la edad de la planta, ya que a medida que aumenta la edad del material a propagar disminuye la capacidad de enraizamiento por lo que la alta tasa de enraizamiento y la calidad de las raíces dependen en gran medida del árbol madre de donde se colectan por lo que la selección del árbol debe considerarse como un factor fundamental (Santelices, 2005). En el enraizamiento de estacas de ciertas especies de coníferas y deciduas, que enraízan con gran dificultad, el factor más importante que afecta la iniciación de raíces es la edad del árbol del cual se toman las estacas, en algunos casos, la estación del año puede tener enorme influencia en los resultados obtenidos y puede

ser la clave para obtener un exitoso enraizamiento, aunque es posible hacer estacas en cualquier época del año (Hartmann y Kester, 1990). En especies de enraizamiento fácil, una época precisa es de poca importancia cuando las estacas se hacen durante la estación de reposo. Con frecuencia los efectos de la temporada del año son una reflexión de la respuesta de las estacas a las condiciones ambientales de las diversas épocas del año (Peña, 1995).

2.5.4 Proceso de enraizamiento

Para el proceso de enraizamiento de las estacas se recomienda utilizar cajas o bancos de enraizado preferentemente elevados del suelo, los cuales pueden contar con una cubierta de polietileno y tener la profundidad suficiente a fin de que las estacas se puedan insertar en el sustrato de enraizamiento el cual tiene que estar bien regado. Las estacas deben protegerse de la desecación durante todas las etapas de preparación e inserción en el medio por lo que se recomienda plantarlas tan pronto como sea posible después de su preparación. Después del cultivo se debe regar el sustrato para que éste se asiente alrededor de las estacas (Hartmann y Kester, 1990).

El sustrato donde se enraízan las estacas tiene tres funciones específicas: mantener las estacas en su lugar durante el período de enraizamiento, proporcionar humedad a las estacas y permitir la penetración del aire a la base de las mismas (Hartmann y Kester, 1990). Una rápida formación de las raíces ocurre cuando el sustrato donde se colocan las estacas es ligero, suelto, está esterilizado, presenta una temperatura templada y humedad continua pero no excesiva y oxigenación óptima (Santelices y Cabello, 2006).

2.5.5 Lesionado

La práctica de heridas basales suele ser benéfica para el enraizamiento de las estacas de ciertas especies, en especial en aquellas estacas que tienen madera vieja en la base. Las lesiones causadas a las estacas suelen producir una mayor cantidad de callos y desarrollo de raíces a causa de una estimulación de los tejidos heridos para que entren en división celular y produzcan primordios radicales. Esto se debe a la acumulación de carbohidratos en el área lesionada, a un incremento en la tasa de respiración, de absorción de agua y la síntesis de cofactores del enraizamiento como el etileno que causa la acumulación de auxinas en la estaca pues inhibe su transporte induciendo en forma indirecta la formación de raíces (Wilson, 1994 y Vargas-Simón *et al.*, 1999).

El callo es una masa irregular de células de parénquima en varios estados de lignificación, con frecuencia las primeras raíces aparecen a través del callo lo que hace suponer que la formación de callo puede ser esencial para el enraizamiento (Ramos *et al.*, 2003).

2.5.6 Almacenamiento en frío de estacas

La endodormancia que se lleva a cabo dentro de las partes de la planta es controlada por las temperaturas bajas, siendo el factor principal para determinar el rendimiento de una planta en determinado clima. Las plantas de zonas templadas se pueden exponer a cierto período de enfriamiento hasta la congelación o por debajo de 7°C para liberar la dormancia, este período de exposición al frío es llamado requerimiento de frío (Wilson *et al.*, 2004).

El almacenamiento en frío mejora el enraizamiento en estacas de coníferas como *Abies fraseri* que presenta requerimientos de 4° C para obtener gran porcentaje de enraizamiento (Driessche, 1983). Estas bajas temperaturas proporcionan mayor crecimiento de raíces en algunas especies (*Liquidambar styraciflua*) en donde muchas de las estacas no tratadas con frío no logran formar brotes o raíces por lo que mueren pronto en las camas de enraizamiento (Capuana y Lambardi, 1995; Rieckermann *et al.*, 1995).

2.5.7 Cuidado de estacas durante el enraizamiento

Durante el proceso de enraizamiento las estacas requieren de ciertos cuidados para obtener resultados satisfactorios, las estacas de tallo de madera dura sólo requieren de cuidados ordinarios como mantener la humedad adecuada del suelo, eliminar la competencia de la maleza, y combatir las plagas y enfermedades (Peña, 1995). Las estacas de madera suave, con hojas, de madera semidura, de hojas y de hojas con yemas que enraízan en condiciones de humedad elevada, requieren de mayor atención durante todo el período de enraizamiento, la temperatura debe ser controlada, no se debe permitir que muestren marchitamiento, si se proporciona calor en el fondo, se deben insertar termómetros en el medio de enraizamiento al nivel de la base de las estacas y revisar frecuentemente.

2.5.8 Importancia de la propagación vegetativa por estacas

La propagación vegetativa es una herramienta útil para el mejoramiento tradicional de árboles siendo una gran promesa para clonar especies forestales (Henrique *et al.*, 2006). Su importancia radica en que las estacas pueden ser colectadas y propagadas en cualquier época del año sin necesidad de depender de la estación del año en la cual exista disponibilidad de semillas necesarias para la reproducción de la especie, además de que la disponibilidad de plantas en campo es desigual en espacio y tiempo. Las estacas permiten realizar investigaciones (estudios sobre metabolitos secundarios) para probar los efectos en varios tratamientos entre individuos genéticamente iguales y así reducir la variación de propiedades intrínsecas entre individuos (LaPierre, 2001).

Las principales ventajas que presenta este tipo de propagación es que a partir de unas cuantas plantas madre se pueden iniciar muchas plantas nuevas en corto tiempo, es un método rápido (Henriquez, 2004) ya que acorta el período juvenil, la floración y la fructificación (Vargas-Simón *et al.*, 1999), es económico, simple y no requiere de técnicas especiales de injerto. Se puede obtener gran uniformidad por la ausencia de variaciones y la planta se reproduce por lo general igual a la planta madre, sin cambio genético. Las desventajas que presenta es que no siempre es conveniente reproducir las plantas por estacas ya que en algunas ocasiones es más conveniente usar un patrón resistente a alguna condición adversa del suelo, a organismos patógenos que vivan en el terreno o utilizar patrones disponibles para vigorizar los injertos (Hartmann y Kester, 1990). Las plantas obtenidas por esta vía son menos vigorosas debido a su sistema radicular superficial y relativamente pobre (Henríquez, 2004). Además, cuando se trata de enraizar estacas llegan a existir

problemas de bajo o nulo enraizamiento por lo que la eficacia de cada método es diferente (Iglesias *et al.*, 1996) y no todas las especies toleran este tipo de propagación, por lo que es imprescindible el uso de reguladores de crecimiento (Henríquez, 2004).

2.6 Factores involucrados en la propagación vegetativa

2.6.1 Sustancias promotoras del enraizamiento

En la inducción de raíces participan dos grupos de sustancias que se pueden clasificar como: hormonas vegetales y sustancias reguladoras del crecimiento, las primeras son compuestos orgánicos, producidos por las plantas que en bajas concentraciones regulan sus procesos fisiológicos y se mueven de un sitio de producción a un sitio de acción, las segundas son compuestos sintéticos que modifican procesos fisiológicos de las plantas y regulan el crecimiento imitando a las hormonas producidas por la planta, muchos tipos de reguladores de crecimiento influyen en la iniciación de raíces (Peña, 1995). Los reguladores de crecimiento se clasifican en auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico y etileno, y otros compuestos de acción más específica son los brasinosteroides, salicilatos, jasmonatos y las poliaminas (García, 2002), de los cuales las auxinas son las que ejercen un mayor efecto en la formación de las raíces en estacas (Peña, 1995), ya que tienen como principal objetivo promover la iniciación de la raíces, incrementar su número y calidad, aumentar la uniformidad del enraizamiento y reducir el tiempo del proceso (Vargas-Simón *et al.*, 1999).

Las auxinas aplicadas exógenamente son un requerimiento para la inducción de raíces en los sistemas de propagación por estacas (García, 2002). Según Wilson

(1994), la aplicación de auxinas estimula la división celular del primordio radical, posiblemente porque favorece la reacción de conjugación que permite la síntesis de ciertas proteínas específicas, puede incrementar la tasa en la que los azúcares son descargados dentro del floema para almacenarlos en el parénquima, promueve el transporte xilemático e incrementa el desarrollo del callo.

2.6.2 Características de los promotores del enraizamiento

Auxinas

Estudios realizados sobre la fisiología de acción de las auxinas muestran que están involucradas en una gran variedad de actividades de la planta como el crecimiento del tallo, formación de las raíces, la inhibición de las yemas laterales, abscisión de hojas y frutos, y la activación de las células del cámbium (Peña, 1995; Henrique *et al.*, 2006). El ácido indol-acético (AIA) se identificó en 1934 como una auxina natural y pronto se encontró que promovía la formación de raíces adventicias, posteriormente se probó el AIA sintético y su actividad para promover la formación de raíces en segmentos de tallo; en 1935 se demostró su empleo en la estimulación de la formación de raíces en las estacas. Al mismo tiempo se demostró que el ácido indolbutírico (AIB) y el ácido naftalenacético (ANA) aunque no son de origen natural, son más efectivos para el enraizamiento de estacas que el de origen natural (Peña, 1995). Estas sustancias se encuentran disponibles en preparaciones comerciales líquidas o en polvo compuestos por una mezcla de auxinas y fungicidas para su uso (Hartmann y Kester, 1990), la presentación de enraizadores líquidos es poco común, y los enraizadores comerciales en polvo más comunes son Rootone, Radix y Raizone-plus (Iglesias *et al.*, 1996).

Su modo de acción consiste en que la auxina se distribuye con una hormona esteroide, pasa a través de la membrana plasmática hacia el citoplasma donde se enlaza con una molécula específica para formar un complejo de tipo hormona-receptor, a partir del punto en el cual la molécula puede disociarse o entrar al núcleo e inducir la síntesis de ARN, provocando una respuesta fisiológica (Klee y Estelle, 1991; García, 2002).

Ácido Indolbutírico

El ácido indolbutírico (AIB) es una auxina natural y producida de manera sintética que aplicada exógenamente es mucho más efectiva que el ácido indolacético (AIA) en la formación de raíces por lo que el AIB es la auxina más recomendada para estimular la formación de raíces en estacas (Iglesias *et al.*, 1996; García *et al.*, 2005). Macdonald, (1986, citado en Iglesias *et al.*, 1996) propuso que la concentración de AIB está en función de las características de la especie (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentraciones de AIB recomendadas por Macdonald (1986) en función de las características de cada especie.

Concentración de AIB (ppm)	Características de la especie
500-1000	Madera blanda y especies fáciles de enraizar sin importar el tipo de madera que tengan.
2000-2500	Especies con moderada facilidad de enraizar, Madera semidura y dura, en plantas de hojas perennifolias y caducifolias.
5000-7000	En especies difíciles de enraizar, de madera semidura y dura, sin importar si son de hojas perennes o caducas.

El AIB es la auxina más ampliamente usada para estimular el proceso de enraizamiento en estacas debido a que tiene alta habilidad para promover la iniciación de las raíces en una gran variedad de especies, no es tóxica para las plantas en un amplio rango de concentraciones y tiene gran estabilidad en comparación con el Ácido Naftalenacético y el Ácido Indolacético (Qaddoury y Amssa, 2004).

Las ventajas de utilizar reguladores de crecimiento de tipo auxinas son incrementar el porcentaje de estacas que forman raíces, acelerar su iniciación, aumentar el número y la calidad de las raíces producidas por las estacas permitiendo la uniformidad del enraizamiento y su mejor uso es aplicarlo en las plantas que enraízan con dificultad, sin embargo una desventaja importante es que aún con el empleo de estas sustancias al final del tratamiento el tamaño y el vigor de las plantas tratadas no es mayor que el obtenido con aquellas que no fueron tratadas con estos enraizadores (Hartmann y Kester, 1990).

2.6.3 Condiciones ambientales en el enraizamiento

a) Cantidad y calidad de luz

En el crecimiento y desarrollo de las plantas la luz es de suma importancia como fuente de energía en la fotosíntesis, en el caso de enraizamiento por medio de estacas los productos de la fotosíntesis son de gran importancia para la iniciación y crecimiento de las raíces. Los efectos que proporciona la luz pueden deberse a la intensidad de ésta (radiancia), al fotoperíodo (longitud del día) y a la calidad de la luz (Hartmann y Kester, 1990).

i. Intensidad de la luz (radiancia): Es la cantidad relativa medida como energía radiante (400 a 700 nm), por área unitaria en que se hacen enraizar las estacas y que puede influir en el enraizamiento. El rango óptimo del nivel de luz para el enraizamiento de estacas con hojas se encuentra entre 20 y 100 W/m² (entre-50% y 95% de sombra en un día soleado). La intensidad de luz en la cual crece la planta madre puede influir en el enraizamiento de las estacas que se toman de ella, lo que puede estar muy relacionado con la acumulación de carbohidratos en la planta (Ruiz, 1998).

ii. Longitud de día (fotoperíodo): El fotoperíodo en el cual crecen las plantas madre puede ejercer cierta influencia en el enraizamiento de las estacas tomadas de ella, lo cual puede estar relacionado con la acumulación de carbohidratos. En algunos casos las estacas de mejor enraizamiento se han obtenido de plantas madre mantenidas bajo fotoperíodos cortos, sin embargo, en otras especies son más efectivos los días largos o la iluminación continua, aunque en muchas otras especies no influye el fotoperíodo. Toda esta situación es muy compleja debido a que el fotoperíodo puede afectar tanto al desarrollo de las ramas como a la iniciación de las raíces y en ciertos casos, controla el crecimiento después de que las estacas han enraizado (Hartmann y Kester, 1990).

iii. Calidad de la luz: Al parecer, la radiación en el extremo rojo anaranjado del espectro favorece el enraizamiento de las estacas, sin embargo, en pruebas realizadas con plantas madre expuestas a seis semanas a fuente de luz antes de

tomar las estacas muestran que la luz azul ayudó a que enraizaran con mayor facilidad (Hartmann y Kester, 1990).

b) Humedad

El mantenimiento de la humedad en el ambiente como en el sustrato permite que las estacas no se des sequen antes de formar órganos especializados de absorción (raíces) y que las células permanezcan turgentes. Taiz y Zeiger (1991, citado en García-Orth, 2002) recomiendan eliminar las hojas o conservar pocas para que la cantidad de agua en las células no se pierda por la transpiración de las hojas.

c) Temperatura

Para el enraizamiento de estacas las temperaturas más aptas son de 21 a 27° C, con temperaturas nocturnas de 15° C. La temperatura del aire demasiado elevada estimula el desarrollo de las yemas antes del desarrollo de las raíces y aumentan la pérdida del agua por las hojas. Algunas especies como *Abies fraseri* (Driessche, 1983) y *Ficus carica* (Gonçalves *et al.*, 2004) enraizan mejor a temperaturas bajas de 4° C.

En las camas de enraizamiento, el aplicar algún tipo de calentamiento controlado termostáticamente en la base de las estacas es benéfico para mantener la temperatura lo cual estimula el enraizamiento (Hartmann y Kester, 1990). El sustrato debe mantenerse a 20-24° C el cual se puede suministrar por medio de agua caliente que pasa por tubos colocados bajo el medio, por cables eléctricos o por un compartimiento térmico debajo de la mesa de propagación (Caballero y Del Río, 1999).

3. JUSTIFICACIÓN

Debido a que *Taxus globosa* presenta una distribución restringida estando particularmente adaptada al hábitat donde crece y presentándose discontinuamente desde México hasta Honduras, a que esta considerada como una especie sujeta a protección especial, a que se carece de conocimientos acerca de sus aspectos morfológicos, fisiológicos y biológicos, a la importancia medicinal y económica que representa por su alta producción de taxol (efectivo en tratamientos contra el cáncer) en comparación con otras especies de la misma familia y a una aparente baja producción de semillas por árbol en el Parque Nacional El Chico que sugiere una pobre propagación natural de la planta en esta región es necesario realizar estudios para su propagación vegetativa como una alternativa para su conservación.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de un promotor del enraizamiento, ácido indolbutírico (AIB) y el pretratamiento con frío en el enraizamiento de estacas de *Taxus globosa*.

4.2 Objetivos particulares

1. Evaluar el porcentaje de enraizamiento en estacas femeninas y masculinas de *Taxus globosa*, con las diferentes concentraciones de ácido indolbutírico, para determinar la concentración adecuada para el proceso.
2. Determinar la cantidad de raíces, la presencia de callo y el promedio de longitud de raíces en estacas de *Taxus globosa* con los diferentes tratamientos analizados.
3. Analizar el tiempo de respuesta de las estacas femeninas y masculinas a cada uno de los tratamientos analizados.
4. Comprobar si existe alguna relación entre el pretratamiento con frío y las concentraciones de ácido indolbutírico en la formación de raíces y/o callo en estacas femeninas y masculinas de *Taxus globosa*.

5. MATERIAL Y MÉTODO

5.1 Material Vegetal

El material vegetal se obtuvo de una población ubicada en las coordenadas 20° 11' 37" N y 98° 42' 58" W a una altitud de 2745 m, en el Parque Nacional El Chico, Hgo., el cual pertenece a la cadena montañosa de Real del Monte y Pachuca y tiene una extensión territorial de 2, 739 hectáreas (CONANP, 2006). De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García (1981), el clima del Mineral El Chico es del tipo Cb(m)(w) (i') g, que corresponde a un clima templado con verano fresco largo, la precipitación del mes más seco es menor de 40 mm; el porcentaje con lluvia invernal es entre 5 y 10.2 % de la anual. Existe poca oscilación térmica (entre 5 y 7° C). El período más calido del año es antes del mes de junio. La temperatura media anual es de 14.8 ° C y la precipitación anual de 1479.5 mm. La vegetación está formada por seis tipos de comunidades vegetales tales como el bosque de cedro, bosque de oyamel, bosque de oyamel-encino, bosque de pino-encino y pastizal (Zavala, 1995).

Se seleccionaron 6 árboles sanos de aproximadamente 20 m de alto. Las estacas se colectaron el día 20 de abril de 2005, y fueron seleccionadas al azar y cortadas con tijeras de poda, debiendo tener de 20 a 25 cm de longitud con una base vieja y una ápice joven. Se obtuvieron 56 estacas de 3 árboles femeninos y 56 de 3 árboles masculinos para un total de 112 estacas.

El transporte hacia el laboratorio de Morfofisiología Vegetal en el Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

(UAEH), se realizó separando las estacas por sexo colocando la base de éstas en vermiculita húmeda dentro de bolsas de plástico transparente para evitar su deshidratación.

5.2 Aplicación del tratamiento hormonal y pretratamiento con frío.

La evaluación de la respuesta de las estacas a los diferentes tratamientos se realizó en el invernadero perteneciente al Centro de Investigaciones Biológicas, ubicado en las instalaciones de la UAEH. La temperatura fue de 41.32° C con una mínima de 15.0° C y una máxima de 45.33° C con un porcentaje de humedad relativa promedio (HR) de 14.78% con una mínima de 13.02% y una máxima de 84.0% dentro del invernadero durante todo el tiempo que duró el experimento.

5.2.1 Pretratamiento con frío

Una vez en el laboratorio, 28 estacas femeninas y 28 masculinas fueron sometidas a pretratamiento con frío. El tratamiento consistió en, almacenar las estacas dentro de bolsas de plástico transparentes con vermiculita, en un refrigerador a una temperatura de 1° C durante 14 días, antes de ser sometidas al tratamiento hormonal. Al resto de las estacas se les preparó para la aplicación de la hormona y se sembraron el mismo día de su colecta.

5.2.2 Preparación de sustancias

Se utilizó el regulador de crecimiento Ácido indolbutírico (AIB) a concentraciones de 5 000 ppm, 10 000 ppm y 20 000 ppm. Se preparó una solución de AIB a una

concentración de 20 000 ppm a la que se le llamó solución madre para lo cual se disolvieron 8 gr. de AIB (Sigma Chemical Co.) en gotas de etanol absoluto en agitación constante para facilitar y acelerar la disolución, posteriormente se disolvió en 400 ml de agua destilada. De la solución madre se tomaron 220 ml para la concentración de AIB 20,000 ppm, de la solución restante se tomaron 60 ml que fueron disueltos en 180 ml de agua destilada para obtener la concentración de AIB 5,000 ppm. La concentración de 10,000 ppm se utilizó en forma de polvo mediante el enraizador comercial RADIX® 10 000.

Para la preparación de la solución de Captán al 5% se disolvieron 5 gr de Captán en 100 ml de agua destilada.

5.2.3 Preparación y siembra de estacas

Antes de aplicar el tratamiento hormonal, a las estacas de ambos grupos (pretratamiento con frío y sin pretratamiento) se les desprendieron las hojas de la mitad inferior, se colocaron durante 30 minutos en una solución de Captán al 5%, posteriormente se realizaron dos cortes longitudinales paralelos hasta el cámbium en la base de cada estaca.

Cada grupo conformado por 7 estacas se colocó en un vaso de precipitado de 500 ml que contenía la solución hormonal previamente preparada (AIB 5,000 y 20,000 ppm) durante 1 minuto, en cada caso se escurrió el exceso de solución. En las estacas tratadas con el enraizador comercial en polvo (RADIX® 10, 000 ppm) se realizó una inmersión por 15 segundos y se eliminó el exceso de enraizador. Las estacas testigo sólo se sumergieron en agua destilada por 1 min. Inmediatamente

después de su tratamiento las estacas femeninas y masculinas se colocaron en su respectiva cama de enraizamiento a una distancia de 5 x 5 cm.

5.2.4 Preparación de las camas de enraizamiento

Se utilizaron camas de madera de 94 cm de largo, 44 cm de ancho y 21.5 cm de alto con orificios de 8 cm de distancia entre cada uno y forradas por dentro con polietileno negro. En la base de las camas se colocó 5 cm de tezontle y posteriormente fueron cubiertas hasta 3/8 partes del borde, con una mezcla tierra de monte y arena en proporción 1:1 (volumen), previamente tamizada con una malla de alambre de 4 mm y desinfectada con bromuro de metilo. Previo al cultivo se aplicaron los riegos necesarios para mantener húmedo el sustrato. Durante todo el proceso de enraizamiento se le colocó a las camas una malla con un 75% de sombra para evitar la incidencia directa del sol y así prevenir la pérdida de humedad, los riegos se realizaron todos los días por la mañana iniciado el experimento y posteriormente cada vez que fue necesario.

5.2.5. Variables evaluadas

El trabajo tuvo una duración de 150 días (d), se realizaron 3 muestreos los cuales tuvieron un intervalo de tiempo de 90, 120 y 150 d, a medida de evaluar el tiempo de respuesta de las estacas a los diferentes tratamientos; estas observaciones consistieron en remover a las estacas del sustrato. Las variables analizadas fueron: porcentaje de estacas enraizadas, porcentaje de enraizamiento, número de raíces por estaca, longitud promedio de raíces formadas, porcentaje de estacas con

formación de callo, tiempo de respuesta de las estacas a los tratamientos utilizados y estacas vivas sin enraizar.

5.3. Diseño experimental

El experimento se condujo de acuerdo con un diseño completamente al azar, con arreglo factorial de los tratamientos, se realizó un ANOVA y una comparación múltiple de medias de Tuckey; estos análisis se realizaron con el programa estadístico SAS para computadora personal (SAS Institute, 1998). Los factores (y niveles) fueron; sexo de las estacas (femenino y masculino), concentración de la hormona (0, 5 000, 10 000 y 20 000 ppm), temperatura (1° y 25°C) y período (90, 120 y 150 d), la unidad experimental estuvo constituida por una estaca y cada factor constó de 7 unidades experimentales o repeticiones (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tratamientos aplicados en estacas de *Taxus globosa*.

Sexo	Temperatura (°C)	[AIB] ppm	Estacas por tratamiento	Nomenclatura
Femenino	1°C	0	7	FTB1
		5,000	7	FTB2
		10,000	7	FTB3
		20,000	7	FTB4
Femenino	25°C	0	7	FTM1
		5,000	7	FTM2
		10,000	7	FTM3
		20,000	7	FTM4
Masculino	1°C	0	7	MTB1
		5,000	7	MTB2
		10,000	7	MTB3
		20,000	7	MTB4
Masculino	25°C	0	7	MTM1
		5,000	7	MTM2
		10,000	7	MTM3
		20,000	7	MTM4

6. RESULTADOS

6.1 Porcentaje de enraizamiento

En la presente investigación se observó que de un total de 112 estacas de *Taxus globosa* sometidas a las concentraciones de AIB y a diferentes temperaturas, el 56.3% de las estacas formaron raíces, observándose diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Fig. 3).

El porcentaje de enraizamiento (PE) no presentó diferencias estadísticamente significativas entre las estacas de ambos sexos sometidas a una concentración de 20 000 ppm de AIB, independientemente de la temperatura a la cual fueron sometidas. El mayor PE lo alcanzó FTM3 (F/25°C/RADIX 10 000) con el 85.7% y es estadísticamente diferente ($P \leq 0.0056$) a los tratamientos FTB2 (F/1°C/ AIB 5000) y MTB3 (M/1°C/RADIX 10 000) con un 71.4% de enraizamiento en ambos casos. Por otro lado, las estacas femeninas con tratamiento de 5000 ppm de AIB y ambas temperaturas (FTB2 y FTM2), son significativamente diferentes y ambas obtuvieron un porcentaje de enraizamiento significativamente mayor que las estacas masculinas sometidas a la misma concentración hormonal. En el caso del enraizamiento sin hormonas (testigo), las estacas femeninas sometidas a ambas temperaturas (FTB1 y FTM1) presentaron un porcentaje de enraizamiento significativamente mayor que las masculinas (MTB1 y MTM1) ($P \leq 0.023$) (Fig. 3). Estos resultados muestran que las estacas femeninas presentan un porcentaje de enraizamiento significativamente mayor estadísticamente que las estacas masculinas independientemente de la temperatura a la cual fueron sometidas (Fig. 4).

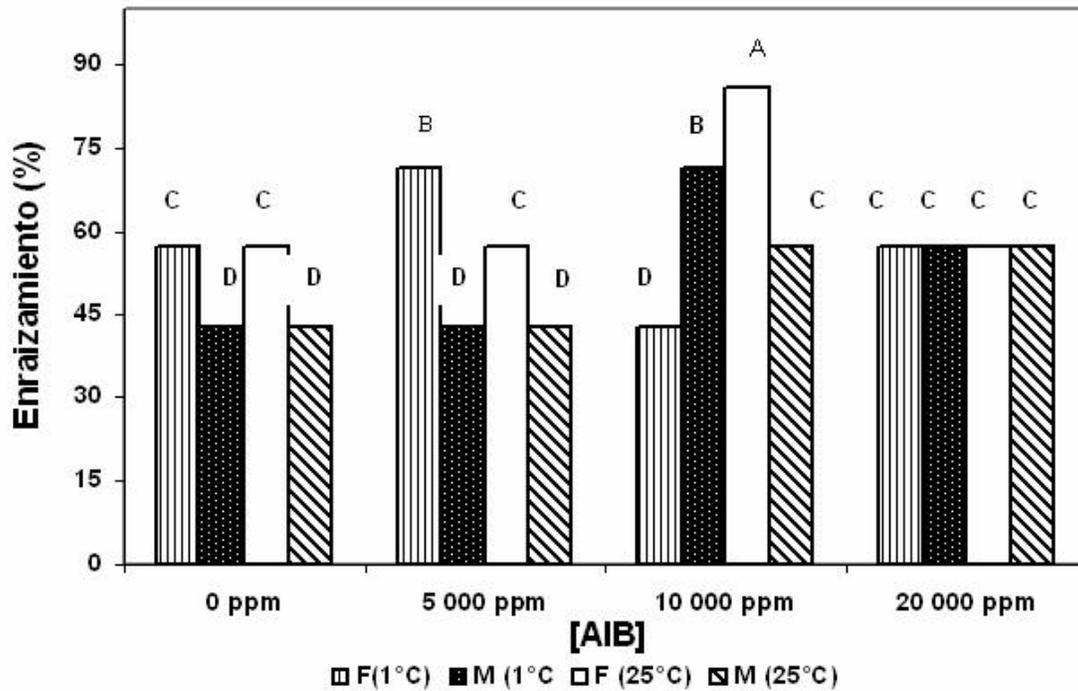


Figura 3. Porcentaje final de enraizamiento (150 d) en estacas femeninas y masculinas sometidas a dos temperaturas (1° y 25°C) y cuatro concentraciones de AIB (0, 5 000, 10 000 y 20 000 ppm). Letras diferentes son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).



Figura 4. Estacas femeninas de *Taxus globosa* tratadas con 1° C y RADIX® 10 000. (FTM3).

6.2 Número y longitud de raíces

Esta variable presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. El tratamiento FTB3 (F/ 1°C / 10 000 ppm) presentó un número y longitud de raíces significativamente mayor ($P \leq 0.0334$; $P \leq 0.0001$, respectivamente), que el resto de los tratamientos. El segundo tratamiento con el mayor número y longitud de raíces fue FTB4 (F/ 1°C / 20 000 ppm) (1.5 raíces/estacas en promedio), el resto de los tratamientos tuvieron entre 1 y 1.3 raíces/estaca, mostrándose diferencias estadísticamente significativas.

La temperatura baja y la aplicación del enraizador comercial RADIX[®] 10 000, en las estacas femeninas, favoreció la generación de un mayor número de raíces por estaca y un incremento en la longitud de las mismas. Es interesante ver que aun cuando el tratamiento FTB3 (F/1°C/RADIX 10 000) presentó el mayor número de raíces, fue uno de los tratamientos con menor porcentaje de enraizamiento (42.8%) (Cuadro 4).

6.3 Formación de callo

Al evaluar la formación de callo en estacas de *Taxus globosa*, se observó que de un total de 112 estacas sometidas a los distintos tratamientos hormonales ninguna estaca presentó formación de callo.

Cuadro 4. Enraizamiento final (150 d), de estacas de *Taxus globosa* en condiciones de invernadero.

X=Promedio \pm error estandar.

Sexo	Temperatura	[AIB]	Tratamiento	PE	NR ^Z	LR ^Z	EV	
	°C		ppm	%			cm)	
Femenino	1° C	0	FTB1	57.1 C	1 \pm 0.3	E	0.37 CD	42.9 B
		5,000	FTB2	71.4 B	1.2 \pm 0.08	DE	0.34 CD	28.6 C
		10,000	FTB3	42.8 D	2.6 \pm 1.3	A	6.9 A	57.1 A
		20,000	FTB4	57.1 C	1.5 \pm 0.22	BC	0.80 B	42.9 B
Femenino	25° C	0	FTM1	57.1 C	1.3 \pm 0.02	CD	0.32 CD	42.9 B
		5,000	FTM2	57.1 C	1.3 \pm 0.02	CD	0.33 CD	42.9 B
		10,000	FTM3	85.7 A	1.2 \pm 0.08	DE	0.17 D	14.3 B
		20,000	FTM4	57.1 C	1.25 \pm 0.03	D	0.25 CD	42.9 B
Masculino	1° C	0	MTB1	42.8 D	1 \pm 0.3	E	0.34 CD	57.1 A
		5,000	MTB2	42.8 D	1.25 \pm 0.03	D	0.41 C	57.1 A
		10,000	MTB3	71.4 B	1.16 \pm 0.12	E	0.57 C	28.6 C
		20,000	MTB4	57.1 C	1.25 \pm 0.03	D	0.28 CD	42.9 B
Masculino	25° C	0	MTM1	42.8 D	1.33 \pm 0.05	CD	0.28 CD	57.1 A
		5,000	MTM2	42.8 D	1 \pm 0.3	CD	0.34 CD	57.1 A
		10,000	MTM3	57.1 C	1.25 \pm 0.03	D	0.43 C	42.9 B
		20,000	MTM4	57.1 C	1 \pm 0.3	E	0.35 CD	42.9 B

^Z Promedio con base en el número de estacas enraizadas. PE: Porcentaje de enraizamiento; NR: número de raíces por estaca; LR: longitud radical; EV: estacas vivas sin enraizar. Letras diferentes son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

6.4 Tiempo de respuesta de las estacas

Otro de los parámetros que se evaluaron en esta investigación fue el tiempo de respuesta de las estacas a los diferentes tratamientos, y en este sentido los resultados mostraron lo siguiente:

A los 90 d de haber iniciado el experimento, la mayoría de los tratamientos tuvieron respuesta, a excepción de tres tratamientos que incluyen a las estacas femeninas que no fueron sometidas a pretratamiento con frío y con diferente concentración hormonal, estos tratamientos fueron FTM1, FTM3 y FTM4. La mayor respuesta, la cual fue evaluada tomando en cuenta el porcentaje de enraizamiento, se obtuvo con las concentraciones de 5000 ppm en ambas temperaturas en estacas femeninas, alcanzando un 42.8% y el tratamiento testigo y con 20 000 ppm en estacas masculinas en ambas temperaturas (Fig. 5 y 6; A y B).

A los 120 d, el porcentaje de enraizamiento se incrementó de la siguiente manera: un 50%, en las estacas masculinas con pretratamiento con frío, y un 60% en las estacas sin pretratamiento. Este incremento se observó en las estacas sometidas a una concentración hormonal de 5000 ppm y RADIX[®] 10 000, el resto de los tratamientos se mantuvieron constantes (Fig. 5 y 6; A y B).

Contrario a las estacas masculinas, en las femeninas, el incremento en el porcentaje de enraizamiento se dio en un rango que va entre el 25% y el 85%, que se presentó con las concentraciones de 5 000 ppm de AIB y el producto comercial RADIX[®] 10 000 en estacas sin pretratamiento; y entre el 33% y 50% en las estacas con pretratamiento con las concentraciones hormonales de RADIX[®] 10 000 y 20 000 ppm (Fig. 5 y 6; A y B).

A los 150 d, las estacas femeninas tuvieron un mayor incremento en el

porcentaje de enraizamiento que el que tuvieron las estacas masculinas. El incremento fue de un 40% a 50% en las estacas con pretratamiento, en el tratamiento testigo y con la concentración de 5 000 ppm de AIB; y entre al 57% y el 75% en las estacas sin pretratamiento, en el tratamiento testigo y con la concentración de 20 000 ppm de AIB (Fig. 5 y 6; A y B). Estos resultados contrastan ampliamente con las estacas masculinas que solo presentaron un incremento del 25% en ambas temperaturas en el tratamiento con RADIX[®] 10 000 y la concentración de 20 000 ppm de AIB. El hecho de que el testigo también haya generado raíces, hace suponer que la baja temperatura promueve la liberación de auxinas endógenas más rápidamente.

Estos resultados muestran una tendencia en donde, las estacas masculinas responden favorablemente en los periodos iniciales, a diferencia de las femeninas cuya respuesta es más lenta, pero que una vez que la respuesta se activa, el incremento en el porcentaje de enraizamiento es constante y en un rango promedio del 50%.

Se puede establecer que el enraizador comercial RADIX[®] 10 000 tiene una mejor respuesta en estacas mantenidas a temperatura ambiente, lo cual se observa en los resultados de las figuras 5 y 6. Es posible que en las estacas femeninas, el tiempo de respuesta inicial a la aplicación de las auxinas exógenas se vea favorecido con la baja temperatura.

Finalmente, el comportamiento presentado en estacas masculinas a temperatura ambiente mantuvo la tendencia presentada con el tratamiento a baja temperatura, los porcentajes más altos de enraizamiento, los presentaron los

tratamientos de 10 000 y 20 000 ppm, sin embargo es importante notar que tal parece que la temperatura baja promueve la respuesta de estos tratamiento.

Los resultados observados muestran que en las estacas masculinas y femeninas, el pretratamiento con frío favorece la respuesta a las diferentes concentraciones hormonales en las etapas iniciales, sin embargo el uso de un enraizador comercial promueve un buen enraizamiento sin necesidad de pretratamiento con frío.

El análisis de varianza detecto como estadísticamente significativa la interacción entre el sexo de las estacas y el período de evaluación para el porcentaje de enraizamiento ($P=0.0045$), esto significa que la respuesta al enraizamiento de las estacas femeninas y masculinas, está relacionada directamente con el período de evaluación (Fig. 7 y 8; A y B).

En cuanto al porcentaje de estacas vivas sin enraizar, las estacas masculinas sin pretratamiento fueron las que presentaron el valor más alto y las femeninas el valor más bajo, lo cual se muestra con el alto porcentaje de enraizamiento de éstas últimas.

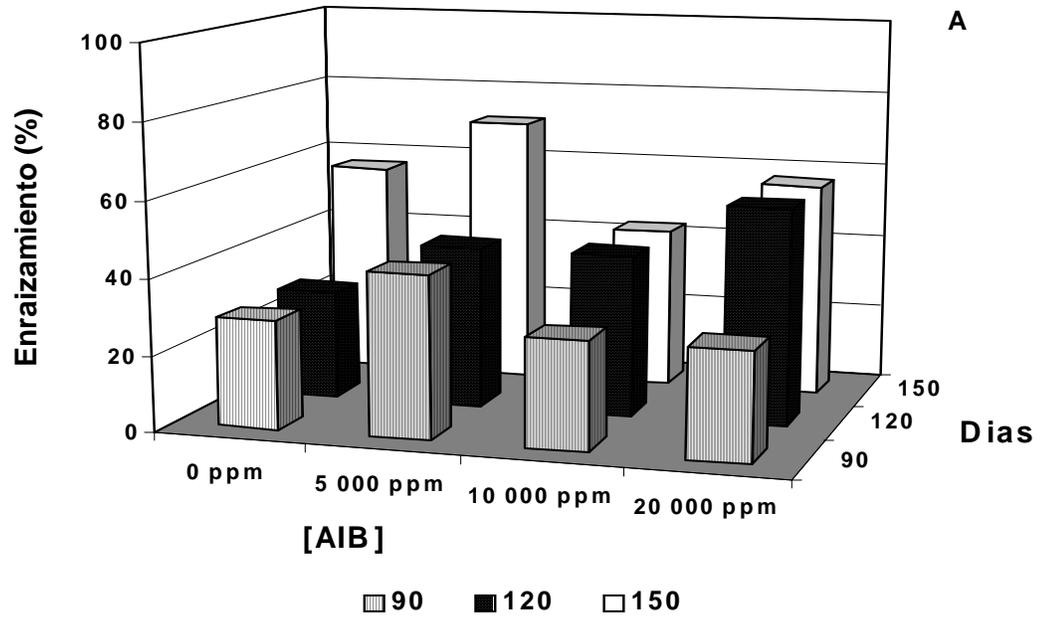
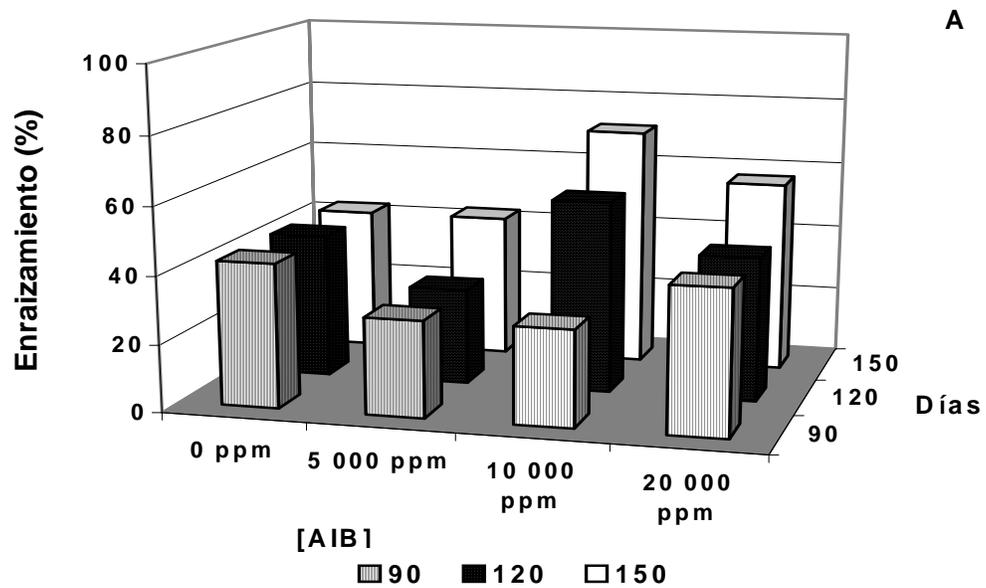


Figura 5. Porcentaje y tiempo de respuesta de las estacas femeninas sometidas a pretratamiento con frío (A) y sin pretratamiento (B) y cuatro concentraciones de AIB: 0, 5 000, 10 000 y 20 000 ppm.



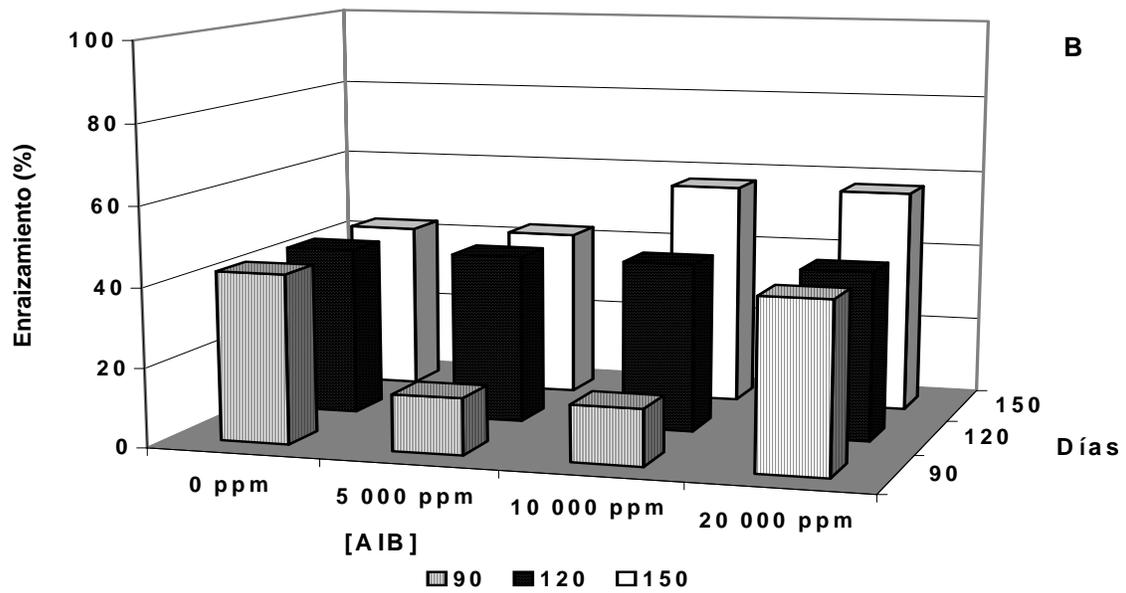
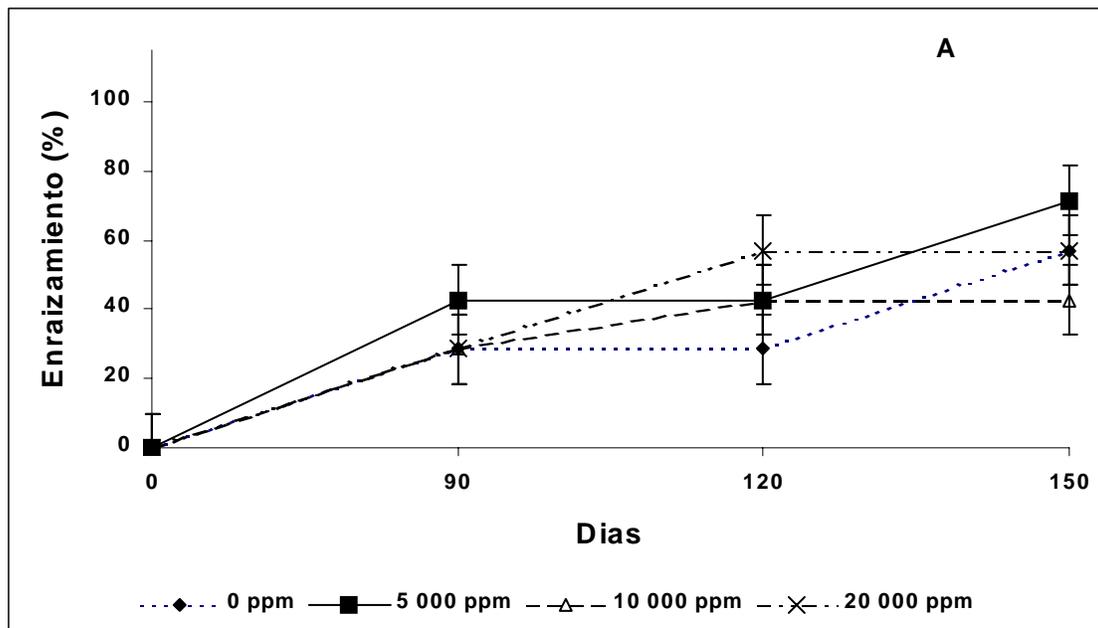


Figura 6. Porcentaje y tiempo de respuesta de las estacas masculinas sometidas a pretratamiento con frío (A) y sin pretratamiento (B) y cuatro concentraciones de AIB: 0, 5 000, 10 000 y 20 000 ppm.



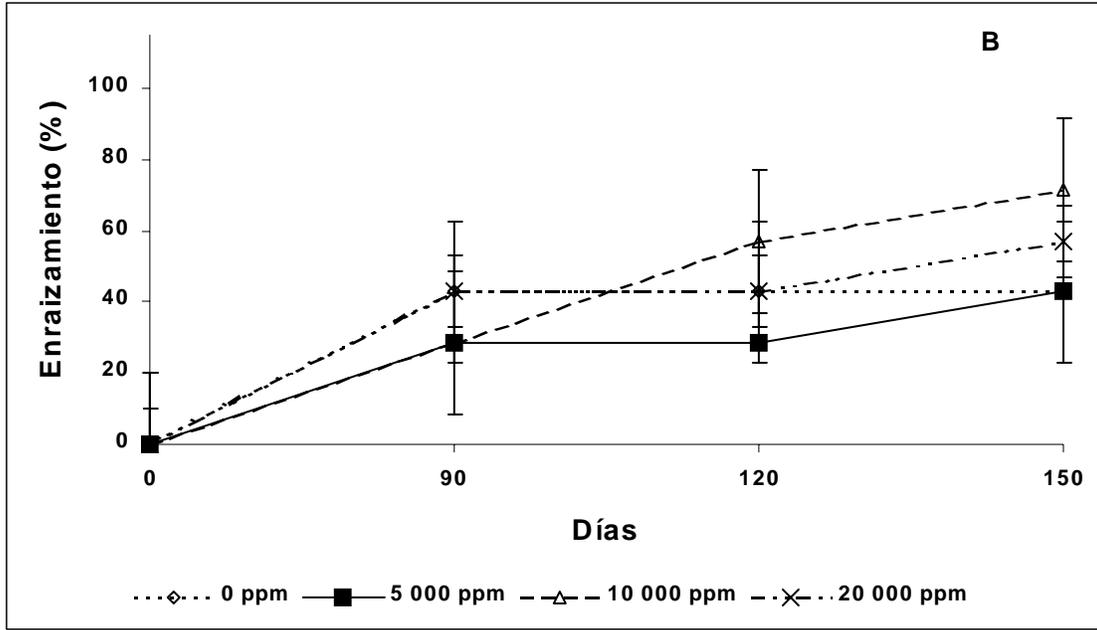
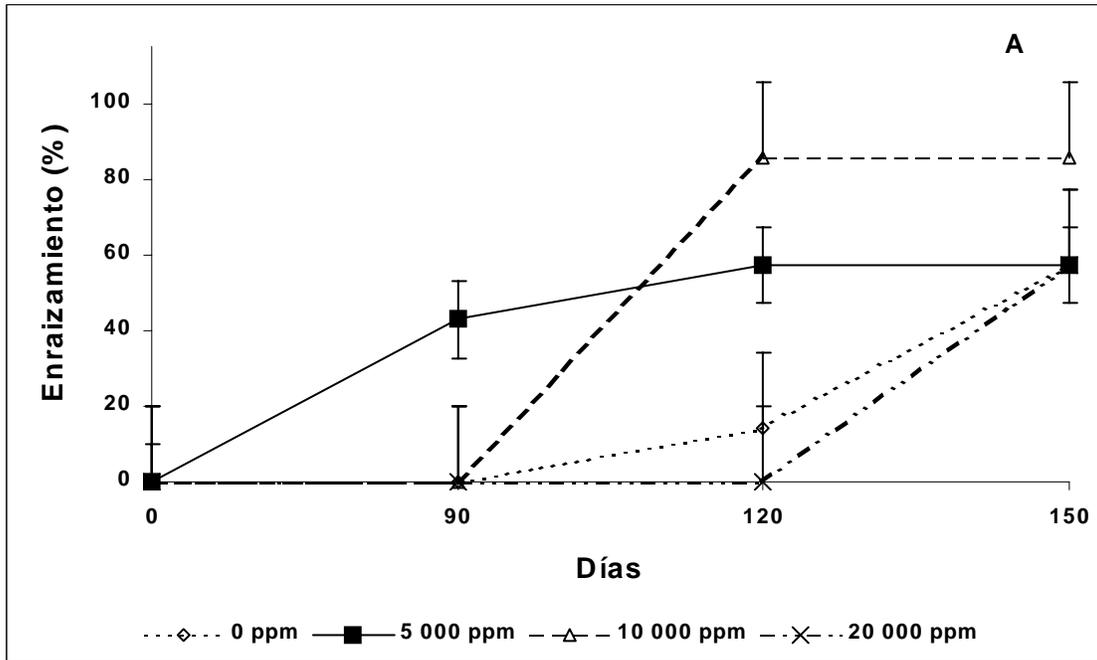


Figura 7. Interacción de sexo de la estaca: femenino (A) y masculino (B) y el tiempo de evaluación: 90, 120 y 150 d sometidas a un pretratamiento con frío (1°C).



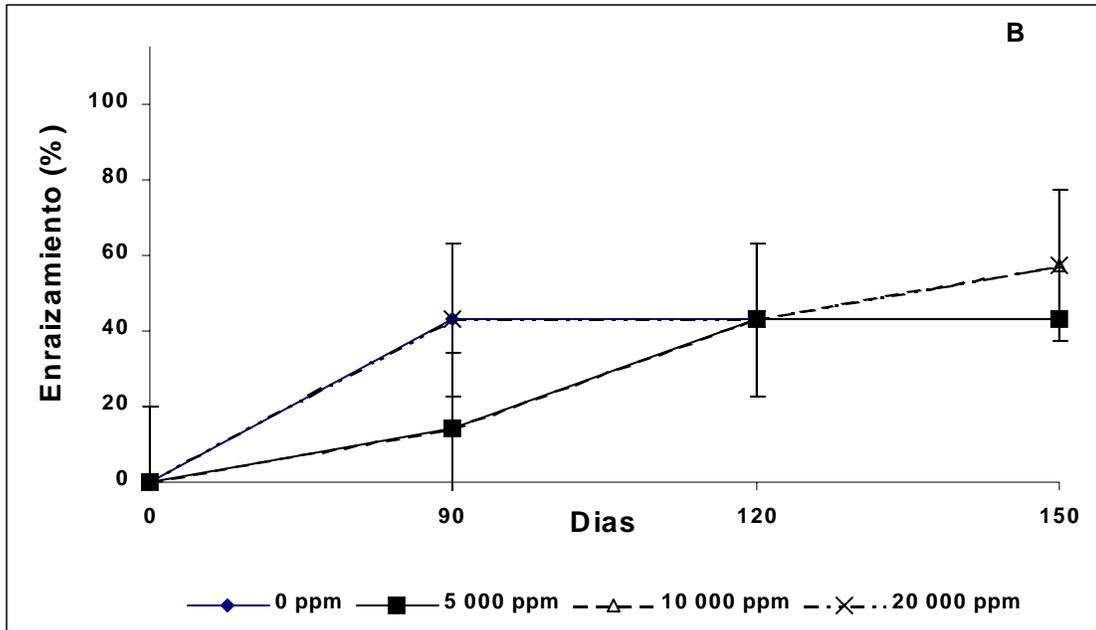


Figura 8. Interacción de sexo de la estaca: femenino (A) y masculino (B) y el tiempo de evaluación: 90, 120 y 150 d mantenidas a una temperatura de 25°C, (sin pretratamiento).

7. DISCUSIÓN

En el presente estudio, a las estacas de todos los tratamientos se les realizaron dos cortes longitudinales paralelos en la parte basal, con la finalidad de favorecer la asimilación de la auxina. Se ha visto que en diversas especies, la interacción entre la auxina y la herida es benéfica porque se incrementa la respiración, la absorción del agua y la síntesis de cofactores de enraizamiento como el etileno. Esta hormona causa la acumulación de auxinas en la estaca, ya que inhibe su transporte, induciendo en forma indirecta en el desarrollo de raíces adventicias (Zacarías, 1993; Wilson, 1994; Hartmann y Kester, 1995).

Se ha comprobado que las aplicaciones de auxinas sintéticas estimulan las divisiones celulares del primordio radical, posiblemente porque favorecen la reacción de conjugación que permite la síntesis de ciertas proteínas específicas, pueden incrementar la tasa en la cual, los azúcares son descargados dentro del floema para su almacenamiento en el parénquima, promueven el transporte xilemático e incrementan el desarrollo del callo (Wilson, 1994). Sin embargo, existen otros factores que pueden afectar este proceso: la duración del tratamiento, la época de colecta, ubicación en la planta madre y longitud de la estaca (Hartmann y Kester, 1995).

Los porcentajes de enraizamiento obtenidos en estacas de *Taxus globosa* permiten suponer que la aplicación de ésta auxina favoreció el enraizamiento, lo que se atribuye a los efectos favorables que produce la aplicación exógena de AIB en el enraizamiento de estacas (Vargas-Simón *et al.*, 1999), esto se sustenta con

los estudios realizados en estacas de *Pinus caribaea var. hondurensis* (Henrique *et al.* 2006) las cuales fueron sometidas a diferentes concentraciones de AIB, ANA (ácido naftalenacético) y sus combinaciones con un inhibidor de las giberelinas, Paclobutrazol (PBZ), registrándose que los porcentajes más altos en la formación de raíces se obtuvieron con AIB y AIB+PBZ a concentraciones de 4 000 ppm con un 100% y 90.63% de enraizamiento respectivamente, lo que sugiere que esta auxina es más efectiva en la formación de raíces que otras como el ANA.

Los mejores resultados para estacas de *T. globosa* se obtuvieron con las concentraciones de 5 000 ppm, 10 000 ppm y 20 000 ppm de AIB, coincidiendo con estudios realizados en estacas de *Myrciaria jaboticaba* las cuales se sometieron durante 5 seg en AIB a concentraciones de 1 000, 2 000, 4 000 y 8 000 ppm y un testigo en agua, observándose que el porcentaje de enraizamiento se incrementó a medida que aumentó la concentración de la hormona desde 8.96% en la concentración más baja hasta 37.98% con la concentración más alta (Scarpate *et al.*, 1999). También en estudios con *Buddleja globosa*, las concentraciones más altas utilizadas (1 000 ppm y 2 000 ppm) favorecieron este proceso de enraizamiento hasta en un 87.5% (Doll *et al.*, 2003), o en los estudios realizados en *Gmelina arborea* (García *et al.*, 2005), en la cual el mayor porcentaje de enraizamiento se obtuvo con la concentración mas alta utilizada, 2.0 ppm, con un 67.8 % de enraizamiento.

Sin embargo los resultados obtenidos en *T. globosa* y los antes mencionados muestran lo contrario a lo reportado por Santiago y Vargas (1999), donde, el número de raíces adventicias aumenta considerablemente en las estacas cuando son sometidas a bajas concentraciones hormonales las cuales representan las

concentraciones óptimas para una mayor formación de raíces en ciertas especies como *Buddleia cordata* la cual, en un trabajo realizado por Ramos (2001) generó mayor número de raíces primarias aplicando bajas concentraciones hormonales; en algunas especies de frutales se ha determinado que el incremento en la concentración de AIB disminuye los porcentajes de enraizamiento, algo similar ocurrió en Semeruco (*Malpighia glabra*) en donde el mayor porcentaje de enraizamiento (48%) lo presentó el tratamiento conformado por estacas subapicales con la concentración más baja de AIB (750 ppm) (Rivero *et al.*, 2005) o los resultados encontrados en *Pinus taeda*, en los cuales Rocha y Niella (2002) observaron que la alta concentración de AIB (2 000 ppm) obtuvo porcentajes de enraizamiento inferiores (71.2%) al tratamiento control (81.8%), lo mismo sucedió en *P. ellioti x caribaea*, donde, el control (78.9%) supero en más del 10% en la formación de raíces, al tratamiento con AIB 2 000 ppm (64.7%).

En el presente trabajo las estacas femeninas sometidas a temperatura ambiente (sin pretratamiento) obtuvieron los mayores porcentajes de enraizamiento con la aplicación del compuesto comercial RADIX[®] 10 000. Un resultado similar se encontró en la especie tropical Icaco (*Chrysobalanus icaco*), en la cual ésta concentración del enraizador comercial generó el mejor porcentaje de enraizamiento y la mayor longitud de raíces formadas por lo que Vargas-Simón *et al.* (1999) sugieren que el producto es un buen promotor de la iniciación y el desarrollo de las raíces adventicias, y esto puede estar relacionado con la alta concentración de auxinas en su formulación, contrario a lo que registraron Tarragó *et al.* (2004), quienes mencionan que a pesar de que el uso de formulaciones sólidas, polvos enraizantes, es ampliamente utilizada por su practicidad, la mala

distribución del AIB y la rápida formación de grumos debido a la humedad, podrían influir negativamente en el proceso de formación de raíces.

Si bien la concentración de 10 000 ppm fue la más efectiva para inducir la formación de raíces en estacas femeninas, las otras concentraciones provocaron diferentes respuestas, esto se debe probablemente a lo que mencionan Leakey *et al.* (1994, citados por Ramos, 2001) que los reguladores de crecimiento pueden fomentar el enraizamiento de las estacas pero, el número de raíces es un reflejo del patrón de crecimiento, forma y función exclusivos del sistema radicular de cada especie, como resultado de la expresión genética aún sin un tratamiento hormonal; esto permite pensar que, independientemente de la respuesta de las estacas a las diferentes concentraciones de AIB, el porcentaje de raíces formadas puede deberse a la naturaleza genética de la especie, por lo que se recomienda realizar estudios previos al cultivo de estacas de *T. globosa* para obtener mejores resultados.

Al finalizar el experimento las estacas tratadas con el AIB a diferentes concentraciones generaron un mayor porcentaje de enraizamiento comparado con el testigo por lo que, a pesar de la naturaleza genética que pueda tener *T. globosa*, la aplicación de un enraizador incrementa la producción de raíces en las estacas de la especie. El bajo porcentaje obtenido en el tratamiento testigo de *T. globosa* se presentan también en estudios realizados por Henríquez (2004) en estacas de *Morus alba* donde el enraizamiento sin tratamiento de auxinas (testigo), la probabilidad de formar raíces adventicias es muy baja. Algo similar ocurrió también con *Myrciaria jaboticaba* en la cual el testigo comparado con cuatro diferentes concentraciones no logró enraizar, en cambio las concentraciones hormonales generaron mayor porcentaje de enraizamiento, esto lleva a pensar que la aplicación

de enraizador, independientemente de la concentración tiende a favorecer la generación de raíces en ciertas especies como ocurrió en *T. globosa*.

Sin embargo, el que el tratamiento testigo haya generado raíces, sugiere que en las estacas probablemente existió liberación y traslocación de auxina endógena.

Por otro lado, la concentración de AIB de 5 000 ppm, favoreció el enraizamiento únicamente en las estacas femeninas que fueron sometidas a pretratamiento con frío, es posible que las bajas temperaturas junto con esta concentración hormonal inhiban la dormancia de las estacas femeninas favoreciendo la formación de raíces como sucedió en la propagación de estacas de ciprés *Cupressus sempervirens* (Capuana y Lambarri, 1995) en las cuales la interacción entre la concentración de AIB y el tratamiento a bajas temperaturas previo a su cultivo, por ocho semanas a 4° C, afecta significativamente en el porcentaje de enraizamiento y el número de raíces por estaca en comparación con el testigo (sin tratamiento de frío), esto se debe a lo que menciona DAVIS (2006) la acción de las bajas temperaturas sobre el metabolismo no es bien conocido pero el frío es la manera más eficaz para romper la dormancia. Un resultado similar lo encontraron Rocha y Niella (2002), en estacas de *Pinus taeda* y *P. elliottii x caribaea* en las cuales un almacenamiento de 7 días a 4° C permitieron un porcentaje de enraizamiento de 97% y 100% respectivamente superando hasta en un 20% al testigo.

Al finalizar el experimento en casi todos los tratamientos las estacas femeninas de *Taxus globosa* generaron un mayor porcentaje de enraizamiento en comparación con las estacas masculinas coincidiendo con los resultados obtenidos en *Juniperus communis var. depressa* (Houle y Babeux, 1994) en los cuales las estacas obtenidas

de plantas femeninas enraízan más fácilmente que las obtenidas de plantas masculinas, esto probablemente se deba a que las características de los árboles femeninos de *T. globosa* les den a las estacas provenientes de estos, una mejor capacidad de respuesta. Sin embargo los resultados presentes en *T. globosa* difieren con lo reportado por diversos autores en especies dioicas en las cuales las ramas de los individuos masculinos crecen más que las de individuos femeninos, debido, posiblemente, a que estos últimos invierten más recursos que los masculinos, en la reproducción, costo que se puede manifestar con un bajo crecimiento y baja sobrevivencia (Rocheleua y Houle, 2001; Obeso y Returto, 2002).

La ausencia de formación de callo en las estacas de *T. globosa* coincide con los resultados obtenidos por Henríquez (2004) en donde la respuesta a la formación de callo en estacas de morera *Morus alba* no fue positiva, el porcentaje de estacas con formación de callo fue mínima, resultados que también se apoyan con los obtenidos por Puig (2003) en estacas de cerezo dulce *Prunus avium* L. cv. Bing donde los mayores porcentajes de estacas con callo se obtuvieron sin la aplicación de AIB y la aplicación de AIB a 1 000 y 2 000 ppm disminuía el porcentaje de éstas. En la propagación por estaquillado de *Parkinsonia aculeata*, donde también los mejores resultados se obtuvieron con las concentraciones más altas, se observó que en ninguno de los tratamientos se presentó formación de callo, por lo que el AIB en *P. aculeata* inhibe la formación de callo (Abedini, 2005), al igual que en *T. globosa*. Los resultados obtenidos sugieren que, para la especie *Taxus globosa*, el AIB, en cualquiera de las concentraciones ocupadas actúan como un inhibidor en la formación de callo. También existe la probabilidad de que el tamaño de las estacas

pudo influir en la nula formación de callo y en la baja producción de raíces ya que según Bautista y Vargas (1983) y Hartmann y Kester (1990) las mejores longitudes de las estacas son de 26-30 cm debido a que las concentraciones de fitohormonas endógenas en estacas menores a 26 cm pueden ser bajas o insuficientes para impulsar la formación de callo y raíces. En el presente estudio esto no fue debidamente procurado, al colectarse estacas de 20 a 25 cm, lo que pudo tener efecto en los resultados obtenidos.

El uso del producto comercial RADIX[®] 10 000 produjo buenos resultados en tres de los cuatro tratamientos para los parámetros de número y longitud de la raíz en estacas de *Taxus globosa*. Confirmando con esto, la eficacia del producto para estos fines. El mayor número de raíces por estaca observadas (2.6) se obtuvo con la concentración de AIB 10 000 ppm, promedios menores que los obtenidos por Nicholson *et al.*, (2003) donde, utilizaron 48 estaquillas de 7 a 15 cm de longitud de *T. globosa* tratadas con AIB 10 000 ppm, tratamiento en el cual obtuvieron un promedio de 11.37 raíces por estaquilla. Lo que indica que las altas concentraciones permiten obtener mejores resultados como ocurrió en estacas de *Chamaecyparis lawsoniana* las cuales fueron tratadas con AIB a 0, 2 500, 5 000, 7 000 y 10, 000 ppm, en un sustrato de cáscara de arroz, resultados en los cuales Stumpf *et al.*, (2001) reportaron un mayor número de raíces por estaca con la concentración más alta (3.31 raíces/promedio).

Algo similar también ocurrió en la especie forestal tropical *Gmelina arborea* (García, 2005), en la cual la concentración más alta de AIB (2.0 ppm) generó un mayor número de raíces por estaca (6.6) y una mayor longitud de las mismas (12 cm).

En cuanto al tiempo de respuesta de las estacas, la razón por la cual las estacas femeninas a 25° C en tres de los tratamientos con AIB no hayan desarrollado raíces puede deberse a que éstas no absorbieron el nivel óptimo de auxinas para producir la iniciación e inducción radical (Vargas-Simon *et al.*, 1999). Hartmann y Kester (1995) establecieron que es aconsejable la aplicación de una auxina para realizar propagación de plantas por estacado, debido a que esto podría aumentar la velocidad de enraizamiento de las estacas.

Los resultados finales muestran diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de estacas enraizadas y la nula formación de callo en ambas temperaturas y ambos sexos por lo que la temperatura puede tener una influencia en la respuesta de las estacas de *T. globosa*, lo cual se asemeja a lo observado por Rocha y Niella, (2002) donde el incremento en el porcentaje de enraizamiento de estacas sometidas a bajas temperaturas y oscuridad pueden estar asociados a un incremento en los niveles de auxinas endógenas de las estacas, ya que la exclusión de luz y las bajas temperaturas posiblemente eviten la destrucción de las auxinas endógenas que son sensibles a la luz y a las altas temperaturas, lo que lleva a pensar que almacenar las estacas de ambos sexos de *T. globosa* a bajas temperaturas asociado a un tratamiento de oscuridad pudo haber incrementado el surgimiento de raíces en las estacas.

Cabe recalcar que la alta variabilidad en la respuesta de las estacas con ambos tratamientos (AIB y Termoperíodo) podría en parte atribuirse a que las mismas no eran genéticamente homogéneas ya que provenían de una población silvestre y por lo tanto la respuesta tendería a ser diversa, en comparación a la que se originaría de una serie de plantas madre bajo cultivo.

8. CONCLUSIONES

En estacas femeninas la temperatura ambiente (sin pretratamiento) incrementa el porcentaje de enraizamiento, sin embargo el pretratamiento con frío y la aplicación del enraizador comercial RADIX® 10 000, favorece la generación de un mayor número de raíces por estaca y un incremento en la longitud de las mismas.

En estacas masculinas el pretratamiento con frío permite un mayor porcentaje de enraizamiento.

Las estacas de *Taxus globosa* requieren de un regulador de crecimiento en altas concentraciones (RADIX® 10 000) para inducir la formación de raíces.

Existe una relación positiva entre el AIB y el termoperíodo, pero esta depende del sexo de la estaca y el tiempo de evaluación.

Debido al bajo número de raíces y la escasa longitud obtenidos se considera que *T. globosa* es una especie difícil de enraizar.

Los tratamientos utilizados no permitieron la formación de callo en estacas femeninas y masculinas de *T. globosa* por lo que estos tratamientos pudieron inhibir la formación de callo en esta especie.

No existe una relación homogénea en la respuesta a los diferentes tratamientos entre estacas de origen femenino y masculino.

Dado que los datos finales se tomaron a los 150 d es posible que el porcentaje de enraizamiento se hubiera incrementado posteriormente.

El presente trabajo tiene el propósito de formar bases para una futura propagación exitosa de *Taxus globosa*.

ANEXO I

Descripción de Taxus globosa Schlecht. De acuerdo con Zamudio (1992)

Árbol bajo o arbusto, perennifolio, de (3) 6 a 12 m de alto; tronco erecto, de 30 a 50 cm de diámetro, muy ramificado, las ramas son al principio algo ascendentes, pero después descienden y las ramillas son colgantes, formando una copa redondeada o extendida, corteza escamosa, de color café claro, se desprende en fragmentos cuadrados o rectangulares de unos 3 a 4 cm por lado, la corteza de las ramas es más o menos lisa, de color café claro, las ramillas son también cafés y conservan las bases en donde se insertaban las hojas que han caído, los renuevos son de color verde claro; hojas jóvenes distribuidas en espiral, más tarde se disponen en forma distal o subdistica por la torsión del pecíolo, aplanadas, lineares a linear-lanceoladas, ligeramente falcadas, de (1.5) 2 a 3.5 cm de largo, por 2 a 2.5 mm de ancho, ápice agudo, acuminado, base angostada en un pecíolo corto, márgenes ligeramente involutos, una sola vena media engrosada, verde oscuras en el haz, más claras en el envés; estróbilos masculinos axilares, ubicados en la parte inferior de las ramillas, solitarios o rara vez en espigas apretadas de 2 a 4, formados por 9 a 14 estambres con filamentos cortos, escama de la antera peltada, con (3) 4 a 7 (8) sacos polínicos péndulos; estróbilos femeninos solitarios en las axilas de las hojas, dispuestos en la parte posterior de las ramas, rodeados por varias brácteas membranosas, verdes, con el margen escarioso; semillas ovoides, de 6 a 7 mm de largo por 4 mm de ancho, cubiertas parcialmente por un arilo carnoso de color rojo, maduran el primer año.

Crece en el fondo de cañadas húmedas con bosque mesófilo de montaña, bosque de *Pinus patula* y bosque de *Abies religiosa*. Alt. 1000-2850 m, Florece de diciembre a febrero, y las semillas maduras se encuentran de septiembre a noviembre.

Se distribuye a lo largo de la Sierra Madre Oriental y la Sierra de Juárez de Oaxaca, reapareciendo al parecer en forma disyunta en Guatemala y Honduras. N.L., Tamps., S.L.P., Qro., Hgo. (tipo: C. A. Ehrenberg 448 (B)), Ver., Oax.; Centroamérica.

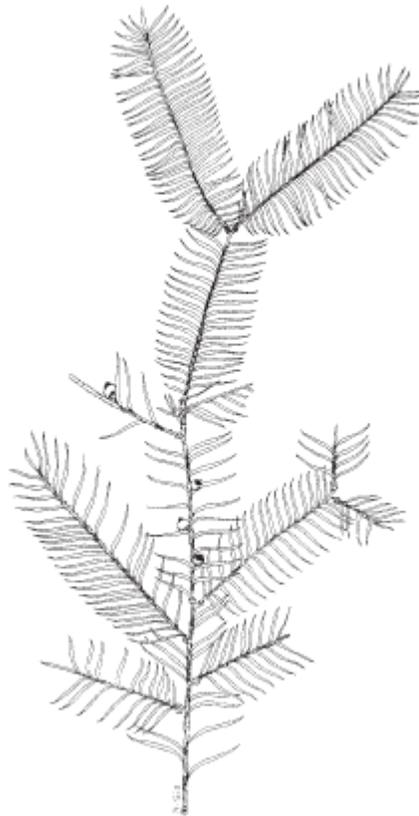
Aunque llega a ser localmente abundante, no deja de ser vulnerable, pues la creciente destrucción de los bosques en que habita puede afectar drásticamente a las pocas poblaciones que existen y ocasionar su desaparición.



A



B



C

Taxus globosa. A. Rama femenina con semillas; B. Rama masculina con estróbilos mostrando los esporangios; C. Rama con estróbilos. Tomado de Zamudio, 1992.

9. REFERENCIAS

- Abedini, W. 2005. Propagación vegetativa de *Parkinsonia aculeata* L. por estaquillado. *Revista de Ciencias Forestales-Quebracho*. (12):23-33.
- Alcántara, A. O. y I. Luna. 2001. Análisis florístico de dos áreas con bosque mesófilo de montaña en el Estado de Hidalgo, México: Eloxochitán y Tlahuelompa. *Acta Botánica Mexicana*. 54:51-87.
- Bautista, D. y G. Vargas. 1983. La inmersión en agua y diferentes ambientes de estratificación en el prendimiento de estacas de la vid “criolla negra”. *Agronomía Tropical*. 34 (1-3):111-118.
- Caballero, J. M. y C. Del Río. 1999. Métodos de multiplicación. En: Barranco, D.; Fernández, E.; Rallo, L. (Eds.) El cultivo de olivo. Mundi-Prensa. Madrid. 93-112 p.
- Capuana, M y M. Lambardi. 1995. Cutting propagation of common cypress (*Cupressus sempervirens* L.). *New Forests*. 9:111-122.
- Cincotta, R. P., J. Winsnewski y R. Engelman. 2000. Human population in the biodiversity hotspots. *Nature*. 404 (6781):990-991.
- CONABIO. 2005. [En línea] Documento electrónico fuente en Internet [Fecha de consulta 2005] disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/>
- CONABIO. 2006. Deforestación y fragmentación de ecosistemas: ¿Qué tan grave es el problema en México?. 5 pág. [En línea] Documento electrónico fuente en Internet [Fecha de consulta 01 de Septiembre 2006] disponible en

http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio_espanol/doctos/deforestacion.html

CONAFOR. 2001. Programa estratégico forestal para México 2025, 173 pág. [En línea] Documento electrónico fuente en Internet [Fecha de consulta 23 de Enero 2006] disponible en http://www.conafor.gob.mx/documentos_conafor/word_docs/PEF_2025.doc#_Toc526828359

CONAFOR-CONACYT. 2004. Demandas específicas. Convocatoria CONAFOR-CONACYT 2004. Demanda 4.12. Plantación, propagación *in vitro* y comercialización del tejo mexicano (*Taxus globosa* Schltld.), una especie con potencial anticancerígeno. 63 pág. [En línea] Documento electrónico fuente en Internet [Fecha de consulta 2 de Febrero 2006] Disponible en <http://www.conacyt.mx/fondos/conafor/2004-01/conafor2004demandas.pdf>

CONANP. 2006. Programa de Conservación y Manejo. Parque Nacional El Chico. Borrador. [En línea] Documento electrónico fuente en Internet [Fecha de consulta 25 de Septiembre 2006] disponible en <http://www.conanp.gob.mx/anp/consulta/PCyM-Chico.pdf>

Contreras-Medina R. y I. Luna. 2001. Presencia de *Taxus globosa* Schlecht. (Taxaceae) en el Estado de Chiapas, México. *Polibotánica*. 12:51-55.

Cope, E. A. 1998. Taxaceae the genera and cultivated species. *The Botanical Review*. 64(4): 291-322.

Díaz, Y., J. Viera y G. Vargas. 1994. Posibilidad de propagación asexual por estacas en *Pachecoa venezuelensis* Burkart. *Agronomía tropical*. 45(4):551-559.

- Doll, U., H. Vogel, P. Jeldres y M. Muñoz. 2003. Estudios de propagación vegetativa en matico (*Buddleja globosa*). *Ciencia e Investigación Agraria*. 30(3): 211-216.
- Dovis, V. L. 2006. Evaluación del efecto de la acumulación de frío sobre la brotación y floración en diferentes cultivares de durazno. Sexto encuentro de jóvenes investigadores. 2 pág. [En línea] Documento electrónico fuente en Internet [Fecha de consulta 3 de abril 2006] disponible en http://www.universia.com.ar/contenidos/investigacion/unl/C_APLICADAS/agropecuaria/254.htm
- Driessche, V. D. R. 1983. Rooting of Sitka spruce cuttings from hedges, and after chilling. *Plant and soil*. 71:495-499.
- FAO. 2001. Situación de los Bosques en el mundo, México: 175 pág. [En línea] Documento electrónico fuente en Internet [Fecha de consulta 23 de Enero 2006] disponible en http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/003/y0900s/y0900s00.htm
- FAO. 2005. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. 15 resultados clave. 8 pág. [En línea] Documento electrónico fuente en Internet [Fecha de consulta 25 de Enero 2006] disponible en <http://www.fao.org/forestry/foris/data/fra2005/kf/common/GlobalForestA4-SPsmall.pdf>
- García, R. R., J. J. Vargas, V. M. Cetina y A. Villegas. 2005. Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y tipo de estaca en el enraizado de *Gmelina arborea* Roxb. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 28(4):319-326.

- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Ed. Larrios. México 71 p.
- García, M. J. J. 2002. Influencia de la aplicación de reguladores de crecimiento sobre la plasticidad fenotípica del *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Pinaceae). Tesis Doctorado en Ciencias: Área Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidad de Colima, México. 126 p.
- García-Orth, X. 2002. Efectos de ácido indolbutírico y de la estratificación en la formación de callos y raíces en estacas de *Bursera simaruta* (L.) Sarg., *Gliricidia sepium* (Jacq.) kunth ex Walp. y *Omphalea oleifera* Hemsl., tres especies potencialmente útiles para la restauración ecológica. Tesis de Licenciatura. UNAM. México D.F. 66 p.
- Gonçalves, F., N. N. J. Chalfun, G. V de A. Coelho y A. A. Alvarenga. 2004. Formas de acondicionamiento a frío e sua influência no enraizamento de estacas de figueira (*Ficus carica* L.). *Revista Brasileira de Agrociência*. 10(2):245-248.
- Guerrero, R. B. 1997. Aislamiento y elucidación estructural de un paracetiltaxano y otros constituyentes del tejo mexicano *Taxus globosa* Schledl (Taxaceae), Tesis de licenciatura. UNAM, México D. F. 72 p.
- Hartmann, T. H. y D. E. Kester. 1990. Propagación de Plantas. Principios y Prácticas. C.E.C.S.A. México: 760 p.
- Hartmann, T.H. y D. E. Kester. 1995. Propagación de Plantas. C.E.C.S.A. México.
- Hartzell Jr., Hal. 1991. The yew tree: a thousand whispers. Eugene, Oregon: Hulogosi.
- Hechenleitner, V. P., M. F. Gardner, P. I. Thomas, C. Echeverría, B. Escobar, P. Brownless y C. Martínez. 2005. Plantas amenazadas del Centro-Sur de

- Chile. Distribución, conservación y propagación. Universidad Austral de Chile y Real Jardín Botánico de Edimburgo. 188 pp.
- Henrique, A., E. Nogueira, E. O. Ono y S. Zambello de Pinho. 2006. Effect of plant growth regulators in the rooting of *Pinus* cuttings. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 49(2):189-196.
- Henríquez, M. E. A. 2004. Evaluación de tres factores de enraizamiento en estacas de Morera (*Morus alba*). Memoria Título Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Chile. 77 p.
- Houle, G. y P. Babeux. 1994. Variations in rootings ability of cuttings and in seed characteristics of five populations of *Juniperus communis* var. *depressa* from subarctic Quebec. *Canadian Journal of Botany/Revue Canadienne de Botanique*. 72(4):493-498.
- Iglesias, G. L., J. A. Prieto y M. Alarcón. 1996. La propagación vegetativa de plantas forestales. *Ciencia Forestal en México*. 21(79):15-41.
- Keyes, M. R. 1996. Tecnología para la reforestación en América Latina. *Madera y Bosques*. 2(1):63-76.
- Klee, H. y M. Estelle. 1991. Molecular genetic approaches to plant hormone biology. *Annual Review of Plant Physiology*. 43:529-551.
- LaPierre, L. M. 2001. Vegetative propagation of *Cecropia obtusifolia* (Cecropiaceae). *Revista de Biología Tropical*. 49(3-4):973-976.
- Leahey, Newton A. C. y Mc P. Dick. 1994. Capture of genetic variation by vegetative propagation: processes determining success. 72-83. En: Leahey R. R. B. y Newton A. C. *Tropical Trees: the Potential for Domestication and the Rebuilding of Forest Resources*. HMSO, Londres.

- Macdonald, B. 1986. Practical woody plant propagation for nursery growers. Vol. 1. Timer Press. USA.
- Mas, J. F., A. Velásquez, J. L. Palacio-Prieto y G. Bocco. 2002. Elaboración de una base de datos geográfica sobre recursos forestales. El Inventario Forestal Nacional 2001 de México. *Quebracho, Revista de Ciencias Forestales*. 9:151-156.
- Medina-Corta, J. M. y J. M. Barrios-Rodríguez. 1997. Plantas endémicas y otras con riesgo a la extinción de la Sierra de Pachuca, Hidalgo. VIII Encuentro de Investigadores en Flora y Fauna de la región Centro Sur de la República Mexicana. Programa y Resúmenes. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca 118 p.
- Nicholson, R. y D. X. Munn. 2003. Observations on the propagation of *Taxus globosa* Schlttdl. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 72: 129-130.
- Núñez, C. I. y A. E. Rovere. 2005. Dimorfismo sexual en el Ciprés de la Cordillera. *Patagonia Forestal*. 11(3):5-6.
- Obeso, J. R. y R. Retuerto. 2002. Dimorfismo sexual en acebo, *Ilex aquifolium*: ¿coste de la reproducción, selección sexual o diferenciación fisiológica?. *Revista Chilena de Historia Natural*. 75:67-77.
- Peña, F. R. M. 1995. Propagación por medio de estacas de algunas especies (*Tamarix plumosa*, *Cotoneaster pannosa*, *Senecio praecox*, *Buddleia cordata*, *Schinus terebenthifolius*) Tesis de Licenciatura. UNAM. México D. F. 62 p.
- Pérez, R. P. 2000. Clave de determinación Botánica (con énfasis en familias de árboles). México: Universidad Autónoma de Chapingo. p. 171-172.

- Prieto, R. J. A. 1992. Estudio de algunos factores que influyen en la propagación por estaquillas de *Cupressus guadalupensis* S. Wats. Tesis de Maestría en Ciencias. División Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 99 p.
- Puig, M. 2003. Enraizamiento de estacas de Guindo Ácido (*Prunus cerasus* L.), Cerezo Santa Lucía (*Prunus mahaleb* L.) y Cerezo Dulce (*Prunus avium* L. cv. Bing). Memoria Título Ingeniero Agrónomo, Chillan, Universidad Concepción, Facultad de Agronomía. Chile. 20 p.
- Qaddoury, A y M. Amssa. 2004. Effect of exogenous indole butyric acid on root formation and peroxidase and indole-3-acetic acid oxidase activities and phenolic contents in date Palm offshoots. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 45:127-131.
- Ramos, P. C. R. 2001. Propagación vegetativa por estacas de especies dominantes de la reserva del Pedregal de San Ángel. Tesis de Licenciatura. Biología. UNAM. 56 p.
- Ramos, P. R. A., R. Callinapa, F. Caceres y E. Ramos. 2003. Plantas Silvestres con Potencial de uso ornamental de Arequipa. 6 pág. [En línea] Documento electrónico fuente en Internet [Fecha de consulta 25 de Enero 2006] disponible en: <http://www.rmcp-peru.org/IICICP/files/bi018.pdf>
- Relf, D. y E. Ball. 2001. Propagation by Cuttings, Layering and Division. 5 pág. *Environmental Horticulture* [En línea] documentos electrónico fuente en Internet [Fecha de consulta 10 de Febrero 2006] disponible en <http://www.ext.vt.edu/pubs/envirohort/426-002/426-002.pdf>

- Rieckermann, H., B. Goldfarb, F. A. Blazich y R. C. Kellison. 1995. Propagation of sweetgum by stem cuttings. *SNA Research conference*. 40:62.
- Rivero, M. G. del C., R. Guerrero y M. Ramírez. 2005. Enraizamiento de estacas de semeruco (*Malpighia glabra* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*. 22(1): 34-41.
- Rocha, P. y F. Niella. 2002. Efecto de tratamientos inductivos en el enraizamiento de estacas de *Pinus elliottii* x *caribaea* y *Pinus taeda*: Novenas Jornadas Técnicas Forestales. INTA-ECF-MEYRNRYT-Argentina [En línea] documento electrónico fuente en Internet [Fecha de consulta 28 de Febrero de 2006] disponible en: Mayo 15-17, 2002. FCF-UNaM-INTA-ME y RNR y T-Eldorado, Misiones-Argentina.
- Rocheleau, A. y G. Houle, 2001. Different cost of reproduction for the males and females of the rare dioecious shrub *Corema conradii* (Empetraceae). *American Journal of Botany*. 88(4):659-666.
- Ruiz, L. 1998. Efecto de la aplicación de AIB y época de recolección sobre el enraizamiento de estacas semileñosas de olivo (*Olea europaea* L.) del cultivar Sevillano. Tesis Ingeniero Agrónomo. Quillota. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. 46 p.
- Rzedowski, J. 1986. Vegetación de México. Tercera edición. México: Editorial Limusa.
- Sadhu, M. K. 1989. Plant Propagation. Wiley Eastern Limited. New Delhi.
- San Miguel, F., C. M. De Clavijo, C. Basso y A. Trujillo. 1999. Enraizamiento de estacas de onoto. *Agronomía Tropical*. 49(1):69-79.

- Santelices, R. 2005. Efecto del árbol madre sobre la rizogénesis de *Nothofagus alessandrii*. *Bosque*. 26(3):133-136.
- Santelices, R. y A. Cabello. 2006. Efecto del ácido indolbutírico, del tipo de cama de arraigamiento, del sustrato y del árbol madre en la capacidad de arraigamiento de estacas de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser. *Revista Chilena de Historia Natural*. 79:55-64.
- Santiago, G. D. y J. H. Vargas. 1999. Estudio de algunos factores que afectan el enraizamiento de estacas de *Tilia mexicana* Schl. *Foresta Veracruzana*. 1:11-18.
- SAS. 1999-2000. SAS Procedures Guide Versión 8.01. SAS Institute. Cary, North Caroline, USA.
- Scarpate, F., N. Tessarioli, W. Costa Junior, R. Kluge y J. da Costa. 1999. Effect of indolbutiric acid on rooting of softwood cuttings of *Myrciaria jaboticaba* under intermittent mist. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 21: 146-149.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2002. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestre. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Segunda sección. 6 de marzo de 2002. México D. F. 1-85.
- Serrano, G. E. 2002. Contribución al conocimiento del México forestal. *Notas, Revista de información y análisis*. 22: 7-14.

- Shemluck, M. J., E. Estrada, R. Nicholson y S. W. Brobst, 2003. A preliminary study of the taxane chemistry and natural history of the Mexican yew, *Taxus globosa* Schltld. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 72:119-127.
- Soto, M., M. Sanjurjo, M. T. González, D. Cruz y F. Giral. 2000. El tejo mexicano (*Taxus globosa* Sch.) Potencial de su aprovechamiento en taxol. *CIENCIA ergo sum*. 7(3): 277-279.
- Stumpf, E. R. T., P. R. Grolli y P. H. G. Szczepanski. 2001. Efeito do ácido indolbutírico, substrato e tipo de estaca no enraizamento de *Chamaecyparis lawsoniana* Parl. *Revista Brasileira de Agrociência*. 7(2):101-105.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 1991. *Plant Physiology*. Editorial The Benjamin/Cummings Public Company Inc. USA. 565 p.
- Tarragó, J. R., C. V. Luna, P. A. Sansberro y L. A. Mroginski. 2004. El empleo de soluciones alcohólicas de IBA promueve el enraizamiento adventicio de estacas plurinodales de yerba mate *Ilex paraguariensis* HT. Hil. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Noreste.
- Vargas, M. F. 1984. Parques Nacionales de México y Reservas Equivalentes. Pasado, presente y futuro. Colección: Grandes Problemas Nacionales. Serie: Los Bosques de México. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. México, D. F. 266 p.
- Vargas, M. F. 1997. Parques Nacionales de México. Aspectos físicos, sociales, legales, administrativos, recreativos, biológicos, culturales, situación actual y propuestas en torno a los Parques Nacionales de México. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT (Eds). México D. F. 261 p.

- Vargas-Simón, G., G. Arellano-Ostoa y R. Soto-Hernández. 1999. Enraizamiento de estacas de Icaco (*Chrysobalanus icaco* L.) sometidas a aplicaciones de auxinas. *Bioagro*. 11(3): 103-108.
- Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz, R. Mayorga, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J. L. Palacio, 2002. Patrones y tasa de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*. 62:21-37.
- Villavicencio, N. M. A. y B. E. Pérez. 1995. Plantas útiles del Estado de Hidalgo, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, 125 p.
- Wilson, J., J. E. Altland, J. L. Sibley, K. M. Tilt y W. G. Foshee. 2004. Effects of chilling and heat on growth of *Ginkgo biloba* L. *Journal of Arboriculture*. 30(1): 45-51.
- Wilson, P.J. 1994. The concept of a limiting rooting morphogen in woody stem cuttings. *Journal of Horticultural Science*. 69(4): 591-600.
- Yáñez, E. L. 2001. Apuntes de Dendrología. México: Universidad Autónoma de Chapingo, División de Ciencias Forestales. pp. 66-68.
- Zacarías, L. 1993. Etileno. En: J. Azcon-Bieto y M. Talon (Eds.). Fisiología y Bioquímica Vegetal. Interamericana McGraw-Hill. Madrid. pp. 343-356.
- Zamudio, R. S. 1992. Familia Taxaceae, Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 9. Instituto de Ecología, A. C., Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro. 6 p.
- Zavala, F. 1995. Encinos hidalguenses. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. 133 p.

Zavala-Chávez, F. 2001. Análisis demográfico preliminar de *Taxus globosa* Schlecht en El Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. I: Población de adultos y algunas características del hábitat. *CIENCIA ergo sum*. 8(2): 169-174.

Zavala-Chávez, F. 2002. Análisis demográfico preliminar de *Taxus globosa* Schlecht en El Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. II: Población de juveniles y algunos datos de semillas. *CIENCIA ergo sum*. 9(2): 177-183.

Zavala-Chávez, F., M. Soto-Hernández y Ma. T. Rodríguez-González. 2001. El romerillo (*Taxus globosa* Schlecht.): Biología, dificultades y perspectivas de su uso. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*. 7(1):77-94.