



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“Efecto del ácido indolbutírico, la estratificación, la hora de corte y el tipo de selva en estacas de *Spondias mombin*: Una herramienta para la restauración ecológica.”

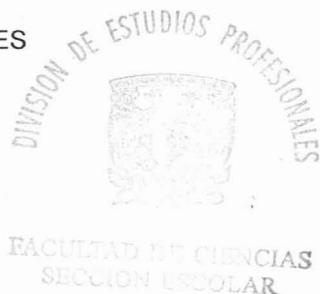
## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A :

PAOLA YURIMA ZAMORA ROSALES



DIRECTOR DE TESIS: BIOL. MARIO ALBERTO GONZÁLEZ MÉNDEZ  
CO-DIRECTORA: DRA. ALMA DELFINA LUCIA OROZCO SEGOVIA

m. 343673 2005



**ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ**  
**Jefe de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

“Efecto del ácido indolbutírico, la estratificación, la hora de corte y el tipo de selva en estacas de *Spondias mombin*: Una herramienta para la restauración ecológica.”

realizado por Paola Yurima Zamora Rosales

con número de cuenta 9527823-6 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

A t e n t a m e n t e

Director de Tesis

Propietario Biol. Mario Alberto González Méndez

Co-Directora

Propietario Dra. Alma Delfina Lucia Orozco Segovia

Propietario Dra. Margarita Collazo Ortega

Suplente Dr. Victor Luis Barradas Miranda

Suplente M. en C. María Guadalupe Barajas Guzmán

*Paola Yurima Zamora Rosales*  
*Alma Delfina Lucia Orozco Segovia*  
*Margarita Collazo Ortega*  
*Victor Luis Barradas Miranda*  
*M. en C. María Guadalupe Barajas Guzmán*

**Consejo Departamental de**  
**Biología**

**M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez**

FACULTAD DE CIENCIAS



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

A Juan y Nicole

A mis papás

A mis hermanos

## Agradecimientos

A Dios por haber creado todas las cosas que pude estudiar en esta carrera, que sirvieron para convencerme y maravillarme aun más de su poder.

Agradezco a la Dra. Alma Orozco cuya dirección, tiempo y asesoría fueron esenciales para poder concluir este trabajo.

A Mario Alberto González Méndez por haber dirigido la parte práctica de este trabajo.

A la Dra. Margarita Collazo, el Dr. Victor Barradas y la M. en C. Guadalupe Barajas por su tiempo en la revisión de esta tesis y todas sus correcciones.

A mi esposo por estar a mi lado siempre, apoyándome y motivándome hasta el final. Te amo.

A Nicole, mi hermosa bebé que ha estado conmigo y me ha dado también de su tiempo para finalizar este proyecto.

A mis papás quienes me apoyaron desde el principio proporcionándome todo lo que estuvo a su alcance y aún más en cada etapa. Los amo.

A mis hermanos Vero e Isra quienes siempre me han ayudado, porque siempre tuve un punto de llegada cerca de la escuela y por la gran ayuda con las computadoras. Los quiero.

A mis compañeros de taller que me ayudaron en la colecta del material necesario aún cuando hubo que desmañarse un poco.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Índice de Contenido

	Página
1. Introducción	1
2. Hipótesis	2
3. Objetivos	3
4. Antecedentes	4
4.1. Restauración	4
4.2. Propagación vegetativa	6
4.2.1. Estacas	7
4.3. Enraizamiento	9
4.4. Formación de hojas en estacas	11
4.5. Temperatura	13
4.6. Hormonas	14
4.6.1. Auxinas	15
4.7. Tipo de Selva	18
5. Materiales y métodos	19
5.1. Material biológico	19
5.2. Sitios de recolecta	21
5.2.1. Reserva de la biosfera "El Cielo"	21
5.2.2. Reserva de la biosfera "Los Tuxtlas"	22
5.3. Recolección de las estacas y siembra	23
5.4. Análisis de los datos	24
6. Resultados	25
6.1. Formación de callos	25
6.2. Formación de raíces	28
6.3. Formación de hojas	30
6.4. Mortalidad	32
6.5. Relación entre la formación de callos y la formación de raíces	34
7. Discusión	35
7.1. Efecto de la concentración hormonal en la formación de callos, raíces, hojas y mortalidad	35
7.2. Efecto de la estratificación en la formación de callos, raíces, hojas y mortalidad	37
7.3. Efecto del tiempo de corte en la formación de callos, raíces, hojas y mortalidad	38
7.4. Efecto del tipo de selva en la formación de callos, raíces, hojas y mortalidad	39
7.5. Relación entre la formación de callos y la formación de raíces	41
8. Conclusiones	42
9. Bibliografía	43

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **RESUMEN**

En este trabajo se estudió la propagación vegetativa por estacas de *Spondias mombin*. Se evaluó el efecto que sobre la formación de callos, raíces y hojas, así como la mortalidad de estacas tuvieron cinco concentraciones de ácido indolbutírico (AIB) (0, 2500, 5000, 7500 y 10000 ppm), la hora de recolecta de las estacas (mañana o tarde), la estratificación y el tipo de selva en el que se recolectaron (selva alta perennifolia de "Los Tuxtlas", Ver. y selva baja caducifolia de "El Cielo", Tamps.).

Se encontró que las concentraciones de 2500 y 5000 ppm de AIB aumentaron la capacidad para formar callos y raíces en las estacas. En todas las estacas cortadas por la mañana y no estratificadas se vio favorecida la formación de callos y raíces y se redujo su mortalidad. Las estacas recolectadas en "El Cielo", Tamps. presentaron porcentajes de enraizamiento mayores que los de las estacas recolectadas en "Los Tuxtlas", Ver. Los porcentajes de formación de hojas fueron más altos para las estacas que se recolectaron en "Los Tuxtlas", Ver.

Para realizar la propagación vegetativa de *Spondias mombin* con éxito, con vías a la restauración de áreas perturbadas en los sitios de estudio, se recomienda recolectar las estacas en las primeras horas de la mañana, sin estratificación y aplicar concentraciones de AIB de 2500 y 5000 ppm.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 1. INTRODUCCIÓN

México es uno de los países con mayor diversidad biológica tanto animal como vegetal, esto se debe a que se encuentra ubicado entre dos regiones biogeográficas, además de tener una complicada orografía y diferentes tipos de climas (Masera et al., 1992).

Dentro de las comunidades vegetales que se encuentran en México están las selvas tropicales, en las que la riqueza biológica es muy alta, además brindan grandes beneficios como la recarga de los mantos acuíferos, la regulación de los ciclos hidrológicos, toma de bióxido de carbono, producción de oxígeno y formación de suelo. Sin embargo, estas áreas han disminuido su tamaño debido a la tala inmoderada y al cambio en el uso de suelo, ya que son desmontadas para establecer campos de cultivo y potreros (Carabias et al., 1994). Se estima que la tasa de deforestación de las selvas en México es de 630, 574 hectáreas anuales (FAO, 1997 en Guevara et al.2004). En la región de “Los Tuxtlas”, Ver. en 1972 había 97,015 ha de selva húmeda, de bosque mesófilo, de bosque de pino y de bosque de encino, para 1993 quedaban 54,281 ha, esto se debe a que estas zonas han sido colonizadas y desmontadas con fines agrícolas y ganaderos. El paisaje actual de “Los Tuxtlas” está formado por fragmentos de selva, de acahual y de cultivo y por una extensión más o menos continua de potrero (Guevara et al. 2004). La zona que ocupa la reserva de la biosfera “El Cielo” en Tamaulipas, ha sido afectada en sus alrededores por los asentamientos humanos donde se practica la agricultura de temporal y es necesario talar y quemar de 1 a 3 ha para crear lotes de cultivo, esta práctica es frecuente ya que las áreas de siembra son abandonadas pronto debido a que la fertilidad del suelo declina y se desarrolla maleza resistente a la quema. Otras actividades que afectan esta zona son la minería y la tala de árboles como el encino, el pino y el liquidambar (Puig y Bracho, 1987). Debido a esto, se

ha hecho necesario implementar estrategias y técnicas con las que se puedan recuperar las zonas deterioradas así como la dinámica original de estas comunidades. La restauración ecológica es una de las estrategias que se han aplicado para recuperar diferentes sitios que han sido afectados; ya que intenta reproducir la sucesión natural de las especies de cada sitio y revertir los daños en un tiempo relativamente corto.

En este trabajo se presenta la propagación por estacas de una especie pionera (*Spondias mombin*) como una herramienta aplicable a la restauración ecológica en la selva baja caducifolia en “El Cielo”, Tamaulipas y en la selva alta perennifolia en “Los Tuxtlas”, Veracruz.

## 2. HIPOTESIS

- o La estratificación provoca una mayor formación de callos y de raíces
- o La aplicación de ácido indolbutírico (AIB) en una concentración media aumenta la formación de callos y raíces.
- o El corte de estacas por la mañana favorece la formación de callos y raíces.
- o En las estacas recolectadas en la selva de “Los Tuxtlas”, Ver., la formación de callos, raíces y hojas será mayor que en “El Cielo”, Tamps.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ha hecho necesario implementar estrategias y técnicas con las que se puedan recuperar las zonas deterioradas así como la dinámica original de estas comunidades. La restauración ecológica es una de las estrategias que se han aplicado para recuperar diferentes sitios que han sido afectados; ya que intenta reproducir la sucesión natural de las especies de cada sitio y revertir los daños en un tiempo relativamente corto.

En este trabajo se presenta la propagación por estacas de una especie pionera (*Spondias mombin*) como una herramienta aplicable a la restauración ecológica en la selva baja caducifolia en “El Cielo”, Tamaulipas y en la selva alta perennifolia en “Los Tuxtlas”, Veracruz.

## 2. HIPOTESIS

- o La estratificación provoca una mayor formación de callos y de raíces
- o La aplicación de ácido indolbutírico (AIB) en una concentración media aumenta la formación de callos y raíces.
- o El corte de estacas por la mañana favorece la formación de callos y raíces.
- o En las estacas recolectadas en la selva de “Los Tuxtlas”, Ver., la formación de callos, raíces y hojas será mayor que en “El Cielo”, Tamps.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo General

Evaluar el potencial rizógeno, formación de callos, hojas y mortalidad de *Spondias mombin* mediante tratamientos de estratificación, diferentes concentraciones de AIB, la hora de corte y dos diferentes tipos de selvas.

#### 3.2 Objetivos Particulares

- Evaluar el efecto de la estratificación en la formación de callos y raíces en estacas de *Spondias mombin*.
- Determinar la concentración de ácido indolbutírico (AIB) óptima para la formación de callos y de raíces en estacas de *Spondias mombin*.
- Evaluar el efecto de la hora de corte sobre la aparición de callos y formación de raíces en estacas de *Spondias mombin*.
- Evaluar las diferencias en las respuestas a los tratamientos aplicados entre las estacas que fueron recolectadas en la selva de “Los Tuxtlas”, Ver. y las que fueron recolectadas en “El Cielo”, Tamps.
- Evaluar el efecto de las interacciones entre los tratamientos aplicados en la formación de callos, raíces y hojas en las estacas de *Spondias mombin* y en la mortalidad de éstas.

#### 4. ANTECEDENTES

##### 4.1. Restauración

Ante la problemática de degradación de las selvas tropicales se ha intentado aplicar conocimientos y estrategias que ayuden a recuperar y conservar estos ecosistemas. De esta manera, se ha estudiado el proceso sucesional que se lleva a cabo en las comunidades. En este proceso ocurren modificaciones abióticas y bióticas que afectan la dinámica y la estructura de las poblaciones, lo que se refleja en la composición de las comunidades (Martínez, 1996). Con base en este proceso de sucesión ecológica se ha abordado a la restauración ecológica, la cual intenta revertir la degradación de un hábitat (Hobbs y Norton, 1996), hasta conseguir que funcionen en un tiempo relativamente corto de manera similar a la comunidad original, con la recuperación de las especies animales y vegetales, así como sus interrelaciones (Martínez, 1996).

El proceso de sucesión ha sido estudiado desde hace tiempo y en diversos sitios alrededor del mundo. Una de las primeras descripciones de la sucesión fue hecha por Clements en 1916 quien propuso que la sucesión es una secuencia de eventos graduales y recurrentes que tienden a llegar al equilibrio (Martínez, 1996). A partir de esta fecha, se han propuesto diferentes modelos de manejo de la sucesión para la recuperación de sitios que han sufrido disturbios por diversas causas (Luken, 1990;).

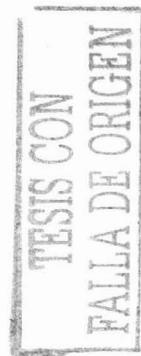
Para poder llevar a cabo un proyecto de restauración es necesario tener conocimiento de cada uno de los factores que caracterizan el sitio a restaurar, como el banco de semillas (Jiménez y Armesto, 1992), especies clave en el proceso sucesional, la dinámica de los ciclos biogeoquímicos, los procesos fenológicos, el papel que juegan las especies en el ecosistema (Bradshaw, 1995), el tipo de disturbio que afectó el sitio, etc.; ya que esto permitirá plantear un método adecuado para cada lugar y tener una mayor probabilidad de



una restauración ecológica exitosa. En la selva de "Los Tuxtlas", Ver., Clark y colaboradores et al. (1990) hicieron un trabajo de investigación en el cual identificaron que los agentes naturales causantes de disturbios en esta zona son principalmente los huracanes y las tormentas.

Se han realizado diversas experiencias en la restauración de ecosistemas tomando en cuenta la diversidad biológica como indicador de recuperación (Powers et al., 1997). La restauración ecológica también se relaciona con la ecología del paisaje, en donde se estudia la dinámica de parches de vegetación observando su formación y regeneración (Urban et al., 1987). Otros estudios evalúan la restauración de un ecosistema con base en la recolonización de aves posterior al disturbio y recuperación tanto en riqueza como en abundancia de especies vegetales (Desrochers et al., 1998). En Centroamérica se han realizado estudios de regeneración en zonas tropicales utilizando plantaciones, las cuales se ha visto que aceleran el proceso de regeneración ya que generan condiciones microclimáticas favorables para el desarrollo y sobrevivencia de plántulas, incrementan la complejidad estructural de la vegetación, favorecen el desarrollo de humus en el suelo, aumentan la atracción de los dispersores de semillas y suprimen el crecimiento de pastos que impiden la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas (Hagggar et al., 1997; Parrota et al., 1997; Powers et al., 1997).

En México se han realizado pocas experiencias de restauración ecológica. En la región del estado de Guerrero, Méx., se llevó a cabo una investigación en la que se propone la reforestación con leguminosas leñosas nativas (Cervantes, 1996). En el Ajusco medio se ha desarrollado un programa de restauración ecológica en el que se estudiaron la ecofisiología, la ecología de poblaciones y los patrones de sucesión en el sitio a restaurar y



se identificaron tres especies claves (*Salvia spp.*, *Sedum oxypetalum* y *Buddleia cordata*) para llevar a cabo la restauración del sitio afectado; con este programa se busca restablecer las interacciones y la estructura de las comunidades originales de este sitio (Soberón, 1990).

Una herramienta importante de la que puede apoyarse la restauración ecológica son las técnicas de propagación asexual o vegetativa de especies clave, ya que son fáciles de realizar, económicas y rápidas.

#### **4.2. Propagación Vegetativa**

La propagación vegetativa se define como la aplicación de principios biológicos y conceptos en la multiplicación de plantas para mantener las características genéticas esenciales de las plantas seleccionadas (Hartmann y Kester, 1998).

La propagación vegetativa se ha practicado desde hace siglos ya que tiene numerosas ventajas, entre las que destacan la reducción en el tiempo de crecimiento, evitando el estadio de plántula, donde la mortalidad es alta, y el estadio juvenil, por lo que se obtienen organismos adultos listos para los periodos de floración y fructificación. Además, se puede producir un gran número de individuos en los que las características seleccionadas se conservarán y permitirán la reproducción de especies con problemas para propagarse por semilla como es el caso de: vainilla (*Vanilla sp*), higo (*Ficus carica*), plátano (*Musa paradisiaca*), naranja (*Citrus sp*), o uva (*Vitis sp*), entre otras (Hartmann y Kester, 1998).

La desventaja de la propagación vegetativa es la baja variabilidad genética que existe en estos cultivos aumentando el riesgo de mortalidad cuando se presentan plagas o enfermedades (Iglesias et al., 1996).

Las características por las cuales la propagación vegetativa puede lograrse son la **totipotencialidad**, que es la capacidad de las células para reproducir un organismo completo, ya que poseen toda la información genética necesaria; y la capacidad de



**desdiferenciación** celular, es decir, que las células maduras vuelvan a una condición meristemática y desarrollen un nuevo punto de crecimiento (Hartmann y Kester, 1998).

Las primeras técnicas para propagar especies vegetativamente eran completamente empíricas, como el caso de la papa (*Solanum tuberosum*), el camote (*Ipomoea batatas*), el bambú (*Phyllostachys sp.*), la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y el plátano (*Musa sp.*). Su propagación se realizaba mediante las estructuras vegetativas con las que se reproducen naturalmente (Harlan, 1992). La obtención de múltiples individuos a partir de uvas, aceitunas e higos se hacía simplemente insertando pedazos de tallos en el suelo (Zohary y Spiegel-Roy, 1975).

La gran cantidad de especies que son de alto valor económico tanto en la fruticultura como en la floricultura han llevado a la aplicación y desarrollo de diferentes técnicas de propagación asexual (Holcomb, 1994), siendo en la actualidad las técnicas más comunes (Iglesias et al., 1996, Hartmann y Kester, 1998):

Estacas o esquejes: Producción de nuevos individuos a partir de porciones de tallo, hojas o raíces.

Injertos: Consiste en unir dos plantas con el propósito de perpetuar una o varias características genéticas de las mismas.

Acodos: Consisten en hacer heridas en las ramas para estimular la formación de raíces adventicias.

Tallos y raíces especializados: bulbos, tubérculos, cormos, estolones y rizomas.

#### **4.2.1. Estacas**

La propagación de nuevas plantas por estacas es el método más común de la propagación asexual. Las estacas se obtienen cortando una porción de tallo, raíz u hoja de una planta y



se colocan en el sustrato lo antes posible para restringir la pérdida de agua, permitiendo a la estaca producir raíces antes de deshidratarse. Hay diferentes tipos de estacas de acuerdo a la parte de donde se obtengan: estacas de tallo: de madera dura, de madera semidura y de madera suave; estacas de hoja, y estacas de raíz (Hartmann y Kester, 1998).

El tiempo en el que las estacas deben ser recolectadas para mantener la turgencia de las células, es en las primeras horas del día o al atardecer, ya que los niveles altos de radiación sobre las plantas pueden influir el enraizamiento debido a que se afecta el nivel y translocación tanto de hormonas como de nutrientes (Palanisamy y Kumar, 1997); además esto evita la rápida deshidratación de las estacas, así mismo la eliminación del follaje también reduce la transpiración (Hartmann y Kester, 1998; Iglesias et al., 1996). Sin embargo, eliminar el follaje completamente puede reducir la fotosíntesis y limitar el enraizamiento (Aminah et al., 1997). Se han dado grandes avances para mejorar la tecnología de enraizado de estacas, a través de la utilización de estructuras (invernaderos, marcos fríos, almajaras cubiertas), controles ambientales (humedad, calor de fondo), desarrollo de medios, aplicación de hormonas, y otras herramientas (Davies, 1994).

De entre todas las técnicas de propagación vegetativa asexual el enraizado de estacas es el método principal de reproducción vegetativa en países como Brasil, Sudáfrica, Portugal y el Congo (Simoës, 1981 en Iglesias et al, 1996).

La propagación de especies por estacas podría ser utilizada para establecer plantaciones, las cuales ya se ha visto que aceleran el proceso de regeneración de sitios perturbados (Haggar et al., 1997; Parrota et al., 1997; Powers et al., 1997).

### **4.3. Enraizamiento**

Diversos factores influyen en el enraizado de estacas, entre ellos destacan la capacidad intrínseca de las especies debido a sus propiedades genéticas y fisiológicas, posición en la copa del árbol, época de recolecta, condiciones ambientales en el enraizado, uso de sustancias promotoras del enraizado, propiedades de los medios de enraizamiento que deben proporcionar a las estacas las condiciones óptimas para que las raíces se desarrollen y la edad de la planta. Esto último ha demostrado ser el factor que más limita el enraizado debido a que los tejidos maduros tardan más tiempo en enraizar y desarrollan menor número de raíces que los tejidos juveniles (Iglesias et al, 1996).

Para realizar la propagación por estacas es necesario que se forme de nuevo un sistema radicular, consistente de raíces adventicias. Las raíces adventicias pueden formarse naturalmente, como en las monocotiledóneas y en plantas acuáticas (Lorbiecke y Sauter, 1999) y también pueden desarrollarse por causa de alguna herida (Esau, 1977). Las raíces inducidas por heridas se considera que se forman nuevamente; el proceso incluye tres pasos (Cline, M. N. en Hartmann y Kester, 1998):

1. - las células lastimadas mueren, se forma una capa necrótica y la herida es sellada con suberina. Esta placa protege la superficie cortada de la desecación y patógenos.
2. - las células de parénquima vivas detrás de esta placa se dividen y forman un callo.
3. - las células vecinas del cambium vascular y floema se dividen e inician la formación de las raíces adventicias.

El callo es una masa irregular de células de parénquima en varias etapas de lignificación que comúnmente se desarrollan en la parte basal de una estaca en condiciones favorables para enraizar. El callo se forma principalmente de células que provienen del cambium vascular y algunas veces del córtex y la medula (Hartmann y Kester, 1998).

Las raíces emergen frecuentemente a través del callo y al parecer la formación de éste es esencial para enraizar en algunas especies de difícil enraizamiento. En especies de fácil enraizamiento la formación de callos y la formación de raíces son independientes una de la otra, el proceso depende de condiciones externas e internas (Davies et al., 1982), sin que el callo participe directa o activamente en la rizogénesis (Baldini, 1992).

Se han realizado diversos estudios sobre el origen y formación de las raíces adventicias y los factores que influyen en el enraizamiento. Hiller (1951) realizó un estudio con *Taxus cuspidata*, una especie de difícil enraizamiento, en el que el origen de las raíces adventicias está asociado con tejido del callo. Girouard (1967) estudió la formación de raíces adventicias en estacas de fase juvenil y madura de *Hedera helix* y encontró que en estacas de fase juvenil las raíces se originan de células de parénquima del floema en la base de la estaca en un periodo de 6 a 10 días, en las estacas de fase madura también se originan de células de parénquima del floema y del callo pero en un periodo de 2 a 4 semanas. En estacas de *Pinus radiata* se estudio el proceso de iniciación de las raíces adventicias así como el sitio en el cual se originan y se identificaron 4 etapas para la formación del primordio radicular (Smith y Torpe, 1975). Fred Davies y colaboradores (1982) realizaron estudios en *Ficus pumila* en los que observaron que las raíces adventicias se originaban en el callo formado en la base de las estacas. Se han hecho investigaciones sobre los cambios anatómicos en el proceso de cicatrización, formación de callo y raíces adventicias en estacas de *Pelargonium hortorum* (geranio), se observó que en las paredes celulares, en espacios intercelulares y en el lumen de los vasos del xilema se deposita suberina; este proceso, la formación de callo y de los primordios de raíces adventicias se desarrolló en 7 días (Niedbalski y Neely, 1983). También con estacas de *Agathis australis* se estudiaron los cambios anatómicos durante el proceso de formación de raíces y se observó que el

primordio de raíz se forma en la parte media del cortex y que los primeros eventos están asociados con divisiones a un par de milímetros sobre la base de la estaca y que esto es seguido por la diferenciación en traqueidas y floema (White y Lovell , 1984). En estacas de manzano (*Malus pumila*) se observó que la formación de los callos es de origen cortical pero también se forma como resultado del daño del cambium, que las raíces emergen del callo basal y que el primordio radical se diferenció a partir del tejido vascular existente (Mackenzie et al., 1986).

#### **4.4. Formación De Hojas En Estacas**

La formación de las hojas inicia cuando las yemas apicales brotan seguidas de la porción media y después las de la base que pueden permanecer latentes. Este comportamiento de las yemas es atribuido a mecanismos hormonales, basados principalmente en la translocación basípetala de las auxinas producidas por las propias yemas. El desarrollo de los brotes es regulado por las auxinas y giberelinas endógenas, los ápices de los brotes producen auxinas que movilizan hacia ellas las sustancias nutritivas que permiten el crecimiento de hojas nuevas; éstas a su vez elaboran giberelinas que estimulan la producción de nuevas auxinas y la multiplicación de las células para el alargamiento de los entrenudos. En el desarrollo de los brotes también se requiere de una buena disponibilidad hídrica y nutricional, ya que en las primeras fases los brotes dependen íntegramente de las reservas de la estaca debido a que las hojitas recién formadas no son capaces de sintetizar hasta que aumentan en número y tamaño (Baldini, 1992), en donde la luz es un factor importante al estimular la expansión de la hoja (Taiz y Zieger, 1991).

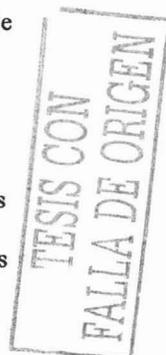
Los carbohidratos producidos en las hojas son importantes para el desarrollo de las raíces; sin embargo, el efecto de hojas y yemas en el enraizamiento se relaciona



mayormente con la producción de auxinas en éstas, la cual es transportada hacia la base de la estaca para inducir la formación de raíces. Aunque la presencia de las hojas puede ser importante en el enraizamiento, la retención de las hojas se toma como una consecuencia del enraizamiento más que una causa de éste. En algunas especies se ha visto que cuando la brotación y formación de las hojas precede al enraizamiento las estacas mueren, ya que agotan sus reservas hídricas y nutricionales; mientras que las estacas que enraizan previamente retienen las hojas (Hartmann y Kester, 1998).

Para llevar a cabo el método de propagación vegetativa con estacas, se recomienda eliminar el follaje cuando las estacas son recolectadas para reducir la transpiración y la pérdida de humedad y así evitar que mueran rápidamente (Hartmann y Kester, 1998; Iglesias et al., 1996). Díaz et al. (1995) evaluó el potencial de enraizamiento en estacas con y sin hojas, las estacas sin hojas mostraron un mejor potencial de enraizamiento y menor porcentaje de mortalidad debido a que la tasa de transpiración de éstas fue menor y pudieron dirigir sus reservas para promover la iniciación y desarrollo de las raíces. En estudios realizados por Ofori et al. (1996), Shiembo et al. (1996) y Aminah et al. (1997) se evaluó la relación entre el enraizamiento y el área foliar, determinaron que es necesario conservar un área foliar óptima para que el enraizamiento no se vea afectado por la excesiva pérdida de agua o la falta de carbohidratos y auxinas, los cuales se requieren para el enraizamiento. Sin embargo, en estacas de *Milicia excelsa*, a las que se eliminó el follaje completamente, se reportó un enraizamiento del 30% atribuido a los nutrientes y carbohidratos producidos y almacenados antes del corte (Shiembo et al., 1996).

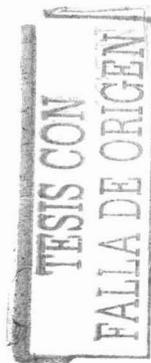
El enraizamiento de las estacas también puede ser influenciado por factores externos como la temperatura y la aplicación de tratamientos hormonales, ya que producen cambios fisiológicos y estructurales en las plantas.



#### 4.5. Temperatura

Desde 1970 se han realizado estudios para determinar la temperatura óptima para el enraizado de estacas, a partir de los múltiples estudios se consensó que la temperatura óptima es de 18 a 25° C para especies de clima templado y de 25 a 32° C para especies de clima cálido. Se ha visto que las temperaturas altas favorecen la iniciación de las raíces, aunque estas temperaturas también pueden inducir enfermedades bacterianas o fúngicas en las estacas (Holcomb, 1994). Las temperaturas bajas limitan el enraizamiento, pues ocasionan que haya poco movimiento de las auxinas hacia la base de las estacas, pero favorecen el desarrollo y crecimiento de las raíces, ya que la respiración es reducida lo cual permite una acumulación óptima de fotosintatos para su desarrollo (Hartmann y Kester, 1998). Las bajas temperaturas causan también una reducción en la síntesis y translocación de sustancias de crecimiento producidas por la raíz, como las citocininas, aminoácidos y ciertas vitaminas (Holcomb, op. cit.).

Algunas veces es necesario someter a las estacas a un tratamiento de estratificación el cual evita que se deshidraten, consiste en colocar las estacas con un material que les proporcione humedad almacenadas a temperaturas bajas entre 0 y 4.5° C por un cierto periodo de tiempo. Este tratamiento permite almacenar las estacas cuando las condiciones climáticas son inapropiadas para que enraicen o cuando fisiológicamente son inmaduras (Iglesias et al., 1996), así se puede satisfacer el periodo frío que algunas especies necesitan (Ritchie, 1994). El tratamiento de estratificación se ha aplicado a varias especies como en estacas de madera suave de *Rhododendron indicum* (azaleas), que se recolectaron en primavera y mantenidas por 10 semanas en bolsas de polietileno en temperaturas de -0.5 a 4.5° C sin tener efectos adversos en el enraizamiento (Prior y Stewart, 1963). Otro estudio con estacas de *Rhododendron catawbiense* que fueron almacenadas por 21 días en bolsas a



una temperatura de 2 a 21° C, no se observó una reducción en el porcentaje de enraizamiento (Davis y Potter, 1985). En estacas no enraizadas de *Crysantemun* sp. (crisantemo) y *Dianthus carophyllus* (clavel) almacenadas en bolsas de plástico selladas por varias semanas a -0.5° C para su posterior enraizamiento, se observó que las estacas enraizadas después del almacenaje enraizaron mejor que aquellas almacenadas después de enraizar (Van de Pol, 1983). Se ha estudiado también el efecto de la temperatura junto con la aplicación de hormonas en estacas de *Dianthus carophyllus* (clavel) y se observó que la auxina aplicada a estacas almacenadas a temperaturas menores de 13° C no fue tan efectiva, como las que estuvieron almacenadas a temperaturas por arriba de los 13° C. En estacas de *Dorycnium spp.*, se evaluó la capacidad de enraizamiento de estacas bajo condiciones de frío y calor en donde se obtuvieron porcentajes de enraizamiento de 42.8% y 68.6%, respectivamente (Alegre et al., 1998).

#### **4.6. Hormonas**

Las hormonas vegetales o reguladores de crecimiento son compuestos orgánicos sintetizados en una parte de la planta y translocados a otra parte, donde en muy bajas concentraciones, originan una respuesta fisiológica (Salisbury y Ross, 1992), aunque a veces también actúan en el lugar donde se producen (Strasburger et al., 1986). Las hormonas son fundamentales ya que activan o inhiben múltiples funciones de las plantas. Existen cinco tipos de reguladores de crecimiento, los cuales han sido más ampliamente estudiados: las auxinas, las giberelinas, las citocininas, el etileno y el ácido abscísico (Taiz y Zeiger, 1991; Salisbury y Ross, 1992; Rojas y Ramírez, 1993; Kende y Zeevaart, 1997; Hartmann y Kester, 1998). También hay otros compuestos que tienen la capacidad de regular el crecimiento y desarrollo de las plantas como: poliaminas, oligosacarinas,

brasinolidos, jasmonatos, triacontanol, ácido salicílico y turgorinas (Salisbury y Ross, 1992, Creelman y Mullet, 1997; Hopkins, 1999).

#### 4.6.1. Auxinas

La principal auxina en las plantas es el ácido indol-3-acético (AIA), aunque existen otros compuestos que causan las mismas respuestas que el AIA, estos son: el ácido indol-3-butírico (AIB); el ácido fenilacético (AFA) y el ácido 4-cloroindolacético (4-cloroAIA) (Salisbury y Ross, 1992; Kende y Zeevaart, 1997).

El AIA se identificó como un compuesto que se forma naturalmente en las plantas y que tiene actividad de auxina, fue descubierto por Went en 1932 en plantas de avena y observó que inducía la curvatura en el coleótilo de ésta (Moore, 1989). El AIA se sintetiza del aminoácido L-triptófano en el primordio vegetal, hojas jóvenes y semillas en desarrollo (Salisbury y Ross, 1992; Kende y Zeevaart, 1997). Se mueve de célula a célula en un gradiente polar del ápice a la base (Taiz y Zeiger, 1991; Baldini, 1992; Salisbury y Ross, 1992; Hartmann y Kester, 1998), a través de tejidos como el floema y células de parénquima que rodean los haces vasculares (Moore, 1989).

Las auxinas tienen una amplia variedad de efectos en el crecimiento y morfogénesis de las plantas como:

**Crecimiento celular en tallos y coleótilos:** Este efecto se ha comprobado en el coleótilo de la avena, en el que al ser removido el ápice y aplicar auxina en un lado de la punta, ésta indujo el crecimiento y alargamiento de las células provocando la curvatura del tallo (Salisbury y Ross, 1992; Hopkins, 1999).

**Diferenciación celular:** Esto se ha visto en *Coleus*, en donde al ser cortado el epicotilo la diferenciación del xilema se reduce, pero este efecto es revertido aplicando AIA (Hopkins, 1999).

**Dominancia apical:** La producción de auxina en el ápice de las ramas inhibe el alargamiento de las yemas axilares ya que la concentración de auxina que estas reciben es menor que la del ápice (Baldini, 1992; Salisbury y Ross, 1992; Hopkins, 1999).

**Desarrollo de flores y frutos:** Las auxinas pueden inducir la formación de flores femeninas en flores imperfectas cuando se aplican en la fase bisexual de las flores (Hopkins, 1999).

**Abscisión de hojas:** La abscisión parece ser dependiente de las concentraciones relativas de auxina en uno de los lados de la capa de abscisión, ya que realizan un efecto protector en los tejidos del peciolo ante el etileno que estimula la formación de enzimas hidrolíticas que provocan el desprendimiento de las hojas (Baldini, 1992; Hopkins, 1999).

**Herbicida:** Varias auxinas han sido utilizados como herbicidas ya que son altamente fitotóxicas y afectan principalmente dicotiledóneas que invaden los cultivos como malezas (Salisbury y Ross, 1992; Hopkins, 1999).

**Fototropismo y gravitropismo:** Las auxinas pueden mediar los efectos que la luz y la gravedad ejercen sobre las plantas. Esto se observó en coleótilos y hojas los cuales se inclinaban en dirección de la luz debido a que las auxinas acumuladas en estas zonas son fotosensibles. El gravitropismo probablemente es inducido por el transporte de las auxinas hacia la base de la planta (Taiz y Zeiger, 1991; Hopkins, 1999).

**Desarrollo y alargamiento de las raíces:** El ácido indolacético sintético (AIA) fue probado en la inducción del enraizamiento en segmentos de tallo y en 1935, investigadores demostraron el uso práctico de este material en la estimulación de formación de raíces en

estacas (Thimann, K. V. 1935 en Hartmann y Kester, 1998). En estudios posteriores se confirmó que la auxina es requerida para la iniciación de raíces adventicias en tallos y que las divisiones de las primeras células iniciales de la raíz son dependientes de auxina endógena (Haissig, 1972; Gasper, 1989). Aproximadamente en el mismo tiempo se mostró que dos materiales sintéticos, el ácido indolbutírico (AIB) y el ácido naftalenoacético (ANA), eran más efectivos que el AIA natural o sintético para enraizar (Zimmerman, 1933 en Hartmann y Kester, 1998). Actualmente el AIB y ANA son las auxinas más ampliamente usadas para enraizar estacas y microestacas en el cultivo de tejidos (Davis y Hassig, 1990). Poliszulk et al. (1999) combinaron ANA con AIB y los aplicaron a estacas de *Bucida buceras* obteniendo con esta mezcla altos porcentajes de estacas enraizadas. Las auxinas también han sido combinadas con fertilizante (urea fosfato) y un agente antigiberélico lo cual incrementa la capacidad de enraizamiento en estacas de olivo (Wiesman y Lavee, 1995).

Las concentraciones en las que se deben aplicar las auxinas dependen principalmente de la facilidad de enraizamiento de la especie, aunque las concentraciones altas pueden inhibir el desarrollo de brotes o raíces, ya que esto estimula la producción de etileno el cual retarda la elongación de raíces y tallos (Salisbury y Ross, 1992) y causa posibles efectos fitotóxicos (Baldini, 1992). Generalmente las concentraciones de auxina que son aplicadas para enraizar la mayoría de las estacas de madera suave, herbáceas y especies fáciles de enraizar van de 500 a 1250 ppm; las concentraciones de 1000 a 3000 ppm con un máximo de 5000 ppm se usan para estacas de madera semidura, que enraizan con moderada facilidad; y de 1000 a 3000 ppm con un máximo de 10000 ppm para estacas de madera dura y que son difíciles de enraizar (Hartmann y Kester, 1998). Para el enraizamiento de estacas de *Bixa orellana* (onoto) se evaluaron tres concentraciones de AIB, 1000, 2000 y

3000 ppm, para las estacas tratadas con 2000 ppm de AIB se observó un mayor porcentaje de enraizamiento (San Miguel et al., 1999). En estacas de *Bucida buceras* también se evaluó el efecto de las auxinas sobre el enraizamiento, en los que se probó el ANA 6000 ppm, AIB 8000 ppm y la combinación de ANA 4000 ppm con AIB 4000 ppm, se observó que esta combinación fue la que dio mejores resultados en la inducción de raíces adventicias para esta especie (Poliszulk et al., 1999). Díaz (1995) evaluó tres concentraciones diferentes de AIB (0, 1000 y 2000 ppm) en estacas con y sin hojas; y en estacas obtenidas de dos partes distintas de la rama (media y basal) evaluó las concentraciones de 0, 1000, 2000 y 3000 ppm obteniendo que la concentración de 1000, en general, produjo el mayor porcentaje de enraizamiento. Las concentraciones óptimas en las que actúan las auxinas depende de cada especie, esto ha sido demostrado por diferentes estudios en los que las concentraciones utilizadas para la propagación varían ampliamente (Lo, 1985; Aminah et al., 1995; Ofori et al., 1996; Shiemo et al., 1996; Mesén et al., 1997; Alegre et al., 1998; De Andres et al., 1999; Alagesaboopathi y Balu, 2000; Rosa y Pinheiro, 2001).

#### **4.7. Tipo de Selva**

Las características anatómicas de las plantas pueden variar de acuerdo a las condiciones ambientales en las que se desarrollan. Uno de los factores que más influye en esto es la humedad ambiental, la cual se relaciona con la estructura anatómica de la madera (Barajas-Morales, 1985).

En estudios comparativos entre la selva húmeda de “Los Tuxtlas” en Veracruz y la selva seca de Chamela en Jalisco, se observó que la anatomía de la madera difiere entre las

especies de ambos sitios y que estas diferencias son producto de las condiciones climáticas de cada sitio, principalmente la disponibilidad de humedad (Barajas-Morales, 1985; 1987).

También se ha visto que la composición de especies y estructura de la selva cambia de acuerdo con las condiciones climáticas de los sitios (Poorter et al., 1996).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Material Biológico

Este trabajo se llevó a cabo con la especie arbórea *Spondias mombin*. Esta es una especie con características importantes para la restauración ya que es nativa de los sitios de estudio (las Reservas de la Biosfera “Los Tuxtlas”, en Veracruz y “El Cielo”, en Tamaulipas), forma parte de los bosques secundarios, se propaga fácilmente (pues se utiliza como cerca viva) y puede ser usada por los habitantes de estos lugares en diferentes maneras lo que propiciaría la conservación de las zonas a restaurar con esta especie (Vázquez-Yanes y Cervantes, 1993; Vázquez-Yanes y Batis, 1996).

#### ***Spondias mombin* L. (Ciruela amarilla, jobo) Anacardiaceae**

Árbol de 20-30 m de alto y 40-80 cm de d. a. p. con tronco cilíndrico, recto. Corteza lisa, pardo amarillenta, lenticelas en forma de huso. Exudado en gotas, transparente y al paso del tiempo blanquecino transparente. Copa relativamente abierta (Ibarra, 1985).

Tiene hojas compuestas, imparipinadas, en espiral y 20-35 (-50) cm de largo incluyendo el pecíolo. Foliolos de (9-) 11-15 (-17) por hoja, de 3.5-12 cm de largo y 1.5-3.5 cm de ancho, opuestos o subopuestos, elíptico lanceolados, con el ápice de agudo a obtuso, margen entero, con haz más pálido que el envés. Venación pinnada de 8-11 venas secundarias.

especies de ambos sitios y que estas diferencias son producto de las condiciones climáticas de cada sitio, principalmente la disponibilidad de humedad (Barajas-Morales, 1985; 1987).

También se ha visto que la composición de especies y estructura de la selva cambia de acuerdo con las condiciones climáticas de los sitios (Poorter et al., 1996).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

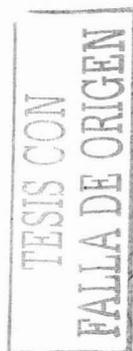
### 5.1. Material Biológico

Este trabajo se llevó a cabo con la especie arbórea *Spondias mombin*. Esta es una especie con características importantes para la restauración ya que es nativa de los sitios de estudio (las Reservas de la Biosfera “Los Tuxtlas”, en Veracruz y “El Cielo”, en Tamaulipas), forma parte de los bosques secundarios, se propaga fácilmente (pues se utiliza como cerca viva) y puede ser usada por los habitantes de estos lugares en diferentes maneras lo que propiciaría la conservación de las zonas a restaurar con esta especie (Vázquez-Yanes y Cervantes, 1993; Vázquez-Yanes y Batis, 1996).

#### *Spondias mombin* L. (Ciruela amarilla, jobo) Anacardiaceae

Árbol de 20-30 m de alto y 40-80 cm de d. a. p. con tronco cilíndrico, recto. Corteza lisa, pardo amarillenta, lenticelas en forma de huso. Exudado en gotas, transparente y al paso del tiempo blanquecino transparente. Copa relativamente abierta (Ibarra, 1985).

Tiene hojas compuestas, imparipinadas, en espiral y 20-35 (-50) cm de largo incluyendo el peciolo. Foliolos de (9-) 11-15 (-17) por hoja, de 3.5-12 cm de largo y 1.5-3.5 cm de ancho, opuestos o subopuestos, elíptico lanceolados, con el ápice de agudo a obtuso, margen entero, con haz más pálido que el envés. Venación pinnada de 8-11 venas secundarias.



Estas plantas son monoicas. Las flores son de color blanco amarillento y minúsculas se presentan en panículas de flores femeninas o masculinas que se originan de las axilas de las nuevas hojas (Ibarra, 1985).

El fruto es una drupa carnosa de color amarillo, de aproximadamente 2 a 2.5 cm de grueso y de 3 a 4 cm de largo y que contiene una pepita de cerca de 2.5 cm de largo con semillas múltiples. Los monos aulladores, *Alouatta palliata*, los murciélagos y las aves son dispersores de las semillas de esta especie (Francis, 1992).

El área de distribución natural del jobo se extiende a lo largo de la costa del pacífico y del golfo de México hacia el sur, crece desde cerca del nivel del mar hasta elevaciones de 1200 msnm. También se encuentra en Centroamérica, Ecuador, la cuenca Amazónica en Brasil y Perú. Esta especie se ha naturalizado en África y en otras áreas tropicales ya que se planta de manera extensa (Francis, op cit).

El jobo es intolerante a la sombra en todas las etapas de su ciclo vital, por lo que requiere de la perturbación para su establecimiento. Se encuentra asociado con bosques secundarios y ocasionalmente penetra bosques primarios a través de perturbaciones naturales. Los hábitats más comunes son las orillas de los caminos, las cercas en los pastizales, las áreas de explotación maderera y los campos de pozos petroleros (Francis, op cit).

La reproducción vegetativa del jobo comúnmente se lleva a cabo por la gente de las localidades donde se encuentra colocando estacas de 50 a 100 cm de largo y de 5 a 10 cm de diámetro insertadas verticalmente hasta la mitad en el suelo húmedo (Francis, op cit).

Los árboles del jobo tienen diversos usos. Las frutas se consumen frescas o se utilizan para hacer jaleas y bebidas, los agrios vástagos jóvenes se comen a veces crudos o cocidos, de la raíz se puede obtener agua cuando se chupa. El jobo se utiliza comúnmente

como poste de cerca viva. Los árboles jóvenes pueden ser utilizados para el forrajeo. Los extractos acuosos y etanólicos de las hojas del jobo inhiben el crecimiento de algunas bacterias gram-positivas y gram-negativas. La madera del jobo es blanda y se utiliza para la construcción ligera como molduras, paneles prensados, entrepaños, cajas, instrumentos de trabajo y postes para cercas. Se puede obtener papel para imprimir. Proporciona sombra (Francis, 1992; Vázquez-Yanes y Batis, 1996).

## **5.2. Sitios de Recolecta**

Los sitios de estudio en los que se recolectó *Spondias mombin* fueron: Las Reservas de la Biosfera “El Cielo” y “Los Tuxtlas”. La descripción para cada sitio es la siguiente:

### **5.2.1. Reserva de la Biosfera “El Cielo”**

Se localiza en el sur del estado de Tamaulipas y abarca ambas vertientes de una porción de la Sierra Madre Oriental, comprende a los municipios de Gómez Farías, Jaumave, Llera y Ocampo. Se encuentra en las latitudes 23° 12' y 23° 03' N y la longitud 99° 18' O. Limita al norte con el río Chihue y al este con el río Sabinas y el manantial del río Frio; al sur con Ocampo y en la falda oeste con las regiones semidesérticas de Tula y Jaumave. La altitud mínima sobre el nivel del mar es de 100 m y la máxima de 2,300 msnm.

El clima de esta zona es cálido con temporada húmeda de mayo a octubre y temporada seca de noviembre a abril. La temperatura promedio anual 22.8° C. La precipitación promedio anual va de los 1000 a 1500 mm.

Su ubicación en la Sierra Madre Oriental entre dos regiones biogeográficas, neártica y neotropical producen múltiples condiciones ambientales y climáticas en diferentes zonas de la reserva, ya que se presentan climas semicálidos, templados, semisecos, y secos; también



se genera una gran diversidad vegetal formando diferentes comunidades vegetales en las se encuentran la selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia, bosque mesófilo de montaña, bosque de pino-encino y matorral xerófilo. Igualmente hay una gran diversidad de especies animales en las que se encuentran varias especies de mamíferos como el jaguar (*Felis onca*), coyote (*Canis latrans*), oso negro (*Ursus americanus*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) entre otros; de aves: hocofaisán (*Crax rubra*), cojolita (*Penelope purpurascens*), el pájaro carpintero (*Campephilus guatemalensis*) estas son especies residentes relativamente abundantes; de anfibios y reptiles como las víboras de cascabel (*Crotalus durissus* y *Crotalus lepidus*) y la nauyaca (*Bothrops atrox*) (Puig y Bracho, 1987; <http://www.inicio2000.com.mx/elcielo/viaje.html>).

### **5.2.2. Reserva de la Biosfera “Los Tuxtlas”**

La zona de los Tuxtlas constituye la extensión más oriental de la cadena montañosa que forma el Eje Volcánico Transversal, la sierra de Los Tuxtlas se extiende de NO a SE en la que se encuentran el volcán San Martín y el volcán Santa Marta. La reserva se localiza en la parte centro-sureste del estado de Veracruz, limitando al norte con el Golfo de México; la superficie total de la reserva es de 155,122 ha. en las cuales la zona núcleo abarca 29,719 ha.

El clima de esta zona es cálido húmedo con una temperatura promedio anual de aproximadamente 25° C. El nivel de lluvia promedio anual es cercano a los 5000 mm, tiene una temporada de lluvias de noviembre a febrero y una estación seca de marzo a mayo.

Debido a su posición geográfica, la amplitud de su gradiente altitudinal y a su topografía en esta reserva se encuentran diferentes comunidades vegetales como: la selva alta perennifolia, selva mediana perennifolia, bosque mesófilo de montaña, bosque de

encino, bosque de pino, sabana, selva baja perennifolia inundada, manglar y dunas costeras; se han descrito alrededor de 2,368 especies de plantas vasculares pertenecientes a 143 familias y 607 géneros. Como parte de estas comunidades se encuentra una gran riqueza de especies animales, se han descrito 102 especies de mamíferos, 49 especies de anfibios, 109 especies de reptiles, 561 especies de aves, 437 especies de peces (<http://www.ine.gob.mx/ucanp/>; Dirzo, 1991; Guevara et al., 2004).

### **5.3. Recolección de las Estacas y Siembra**

Se cortaron 1200 estacas las cuales se obtuvieron de árboles que se encontraban en las orillas de potreros como cerca viva y en huertos.

Las estacas se cortaron a dos diferentes tiempos: en las primeras horas de la mañana, entre las 6:00 y 8:00 horas y temprano en la tarde entre las 12:00 y 15:00 horas.

El tamaño de cada estaca fue de aproximadamente 30 cm longitud, por 1 a 3 cm de diámetro, procurando que incluyeran al menos dos yemas foliares. Para reducir la pérdida de humedad se eliminó el follaje.

Se aplicó ácido indolbutírico (Radix) en la base de las estacas al momento del corte, en las siguientes concentraciones: 0, 2500, 5000, 7500 y 10000 ppm. La concentración 0 se obtuvo aplicando talco.

De las 300 estacas obtenidas en cada tiempo de corte, la mitad se envolvió en periódico y en bolsas negras, y se guardaron en hielo para mantener su temperatura por debajo de los 4° C con el fin de estratificarlas. La otra mitad también se envolvió en periódico, se metieron en bolsas de plástico negras y en cajas de cartón, estas no fueron sometidas al tratamiento de estratificación.



Se transportaron en hieleras y cajas de cartón, el tiempo que permanecieron almacenadas durante el transporte hasta la ciudad de México proporcionó el tiempo para el tratamiento de estratificación, que fue de seis días.

Las estacas estratificadas y las del control se plantaron en sustrato de agrolita contenido en bolsas de polietileno de color negro. Se plantaron 10 estacas elegidas al azar en cada bolsa, en condiciones controladas de invernadero. Cada bolsa con 10 estacas constituyeron una repetición. Se les regó 3 veces por semana y cada tres semanas se registró la aparición de callos, de raíces, el número de hojas y la mortalidad durante seis meses.

#### **5.4. Análisis de los Datos**

Se realizó un análisis de varianza múltiple (MANOVA) considerando los siguientes factores: 2 tipos de selva, 2 tratamientos de estratificación, 5 concentraciones de AIB (radix), 2 horas de corte, con 3 réplicas por tratamiento y  $N = 10$ . También se realizó un análisis de rango múltiple (LSD). Se ajustaron curvas de respuesta mediante la paquetería TableCurve 2D v.3.0 para Windows; se utilizó la curva  $y = a + bx + cx^{0.5}$ . Las gráficas se realizaron con el programa Sigma Plot 2000 v.6.0.

Para evaluar la relación entre los callos y las raíces se hizo un análisis de correlación entre estas variables.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Formación de Callos

La concentración de hormonas ( $F_{(4, 119)} = 10.01$ ,  $p = 0.000$ ), la estratificación ( $F_{(1, 119)} = 92.77$ ,  $p = 0.000$ ) y la hora de recolecta ( $F_{(1, 119)} = 4.55$ ,  $p = 0.0360$ ) tuvieron un efecto significativo en la formación de callos (Fig. 1). La mayoría de las interacciones fueron significativas: concentración de AIB y estratificación ( $F_{(4, 119)} = 6.09$ ,  $p = 0.0002$ ), concentración de AIB y tipo de selva ( $F_{(4, 119)} = 4.82$ ,  $p = 0.0016$ ); estratificación y tipo de selva ( $F_{(1, 119)} = 5.46$ ,  $p = 0.0220$ ); tiempo de corte y tipo de selva ( $F_{(1, 119)} = 77.40$ ,  $p = 0.0000$ ); concentración de AIB, estratificación, y tipo de selva ( $F_{(4, 119)} = 2.81$ ,  $p = 0.0308$ ); concentración de AIB, tiempo de corte, y tipo de selva ( $F_{(4, 119)} = 4.78$ ,  $p = 0.0017$ ).

De acuerdo con el Análisis de Rango Múltiple las concentraciones hormonales de 2500 y 5000 ppm, la no estratificación y la recolecta en horas de la mañana provocaron una mayor formación de callos.

En el análisis de regresión se encontró que cuando las estacas se recolectaron por la mañana y se estratificaron hubo una relación negativa significativa con la concentración hormonal para las estacas de ambos tipos de selva (Fig. 1e, f). Sin embargo, hay diferencias entre ambos; para las estacas de El Cielo sólo la concentración hormonal más alta inhibió la formación de callos (Fig. 1e). En las estacas recolectadas por la tarde y estratificadas (Fig. 1a, b) las regresiones también fueron significativas y mostraron una relación negativa con la concentración hormonal, además se observó una tendencia similar a la que presentaron las estacas de El Cielo recolectadas en la mañana y estratificadas (Fig. 1e) en las cuales las concentraciones medias presentaron mayor formación de callos que el control y la concentración de 10000 ppm. De la misma manera, en ambas selvas la producción de callos de las estacas recolectadas en la tarde y que no fueron estratificadas (Fig. 1c, d), no

presentaron una relación significativa con la concentración hormonal. En general, recolectar las estacas por la mañana y no estratificarlas resulta en una mayor formación de callos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

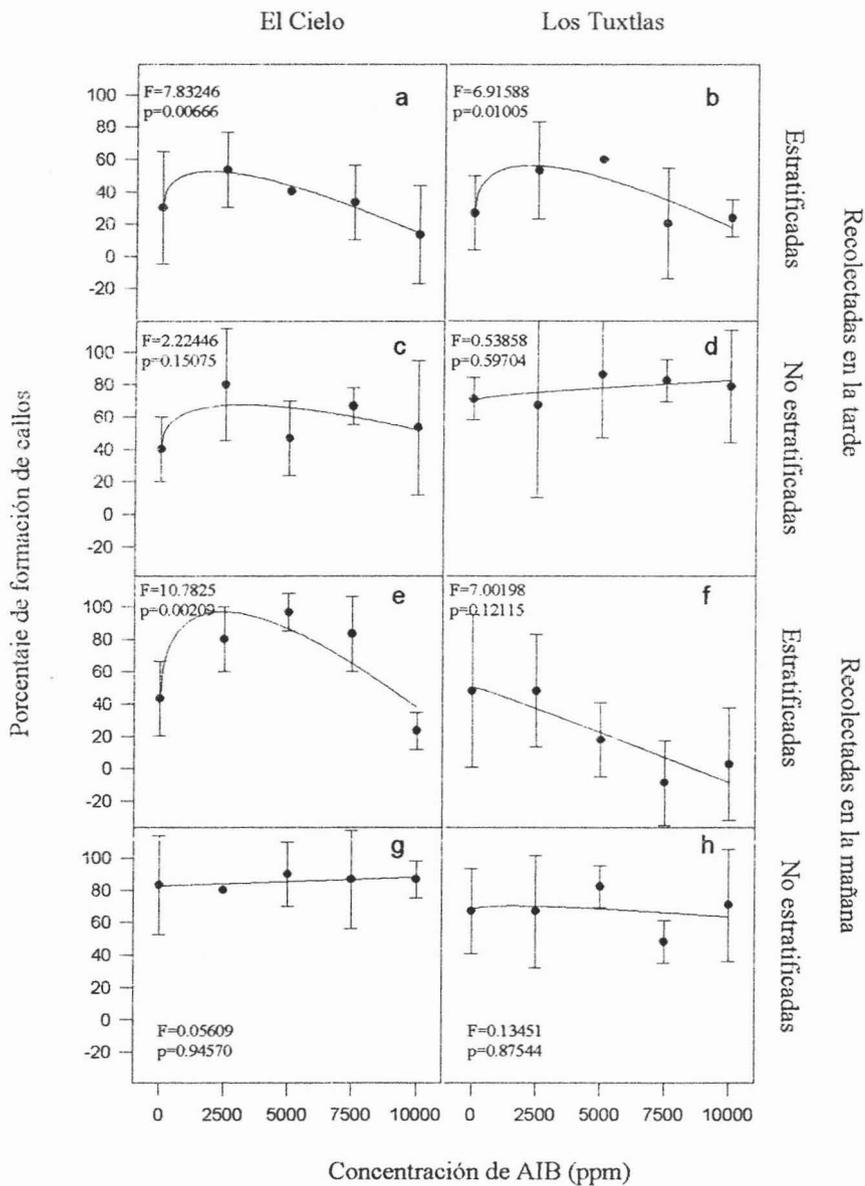


Fig. 1. Efecto de la concentración de ácido indolbutírico (AIB), estratificación, tiempo de recolecta y el tipo de selva en la formación de callos en estacas de *S. mombin*.

• Valor acumulado de estacas con callo Las barras indican el error estándar

## **6.2. Formación de Raíces**

En la formación de raíces (Fig. 2) la estratificación ( $F_{(1, 119)} = 19.530$ ,  $p = 0.000$ ), el tiempo de corte ( $F_{(1, 119)} = 7.159$ ,  $p = 0.0090$ ) y el tipo de selva ( $F_{(1, 119)} = 18.712$ ,  $p = 0.000$ ) tuvieron efectos significativos. Se presentaron interacciones significativas entre el tiempo de corte y el tipo de selva ( $F_{(1, 119)} = 50.603$ ,  $p = 0.000$ ); y entre la concentración hormonal, la estratificación y el tiempo de corte ( $F_{(4, 119)} = 3.197$ ,  $p = 0.0173$ ). De acuerdo con el Análisis de Rango Múltiple las estacas de El Cielo mostraron mayor capacidad para formar raíces, la concentración hormonal de 2500 fue en general la mejor, así como no estratificar y cortar las estacas por la mañana.

El análisis de regresión únicamente mostró una tendencia negativa significativa al aumentar la concentración hormonal para las estacas de “Los Tuxtlas”, recolectadas en la tarde y estratificadas (Fig. 2b). Sin embargo, la formación de raíces fue baja en todos los tratamientos, especialmente cuando las estacas de “Los Tuxtlas” se recolectaron en la mañana y se estratificaron. (Fig. 2f). En general, la formación de raíces se vio favorecida cuando se aplicó AIB en concentraciones medias 2500 y 5000 ppm y las estacas se recolectaron por la mañana sin estratificar.

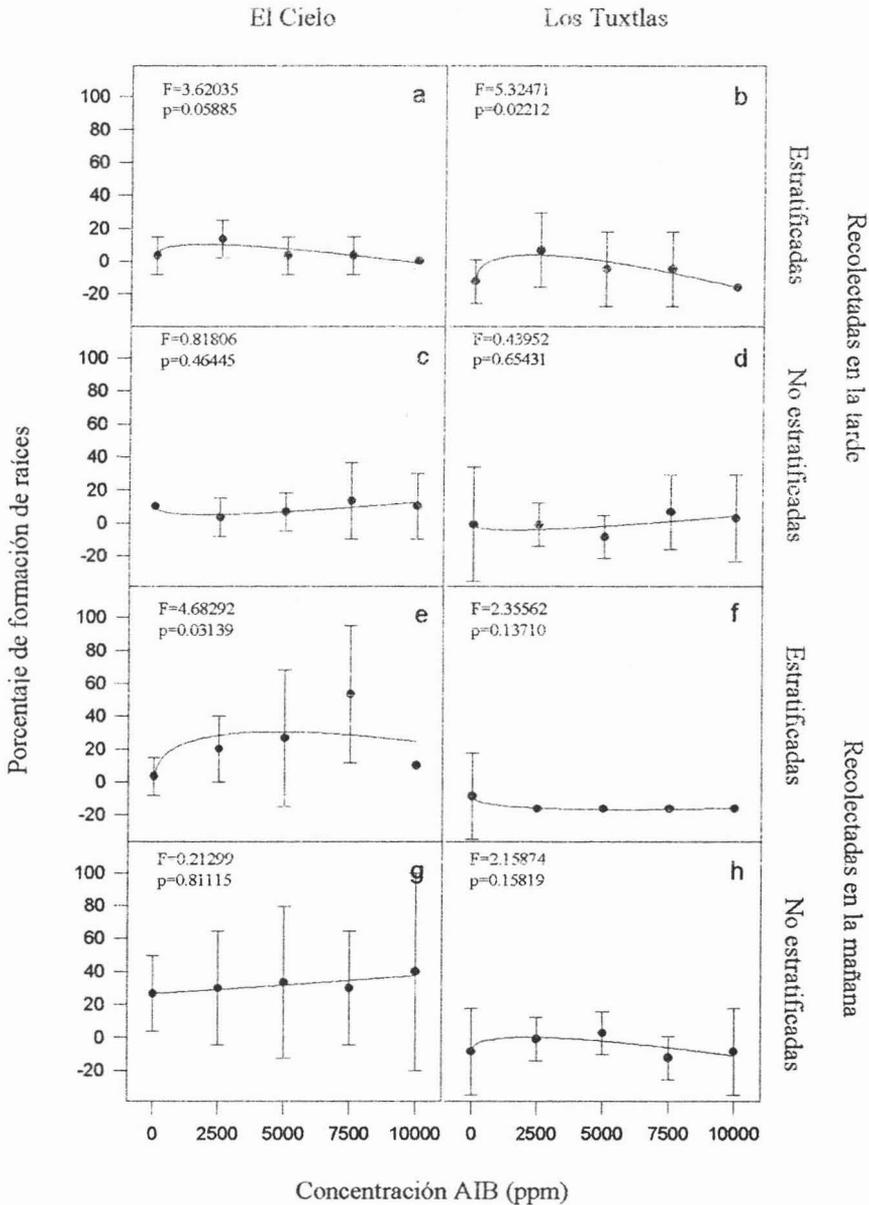


Fig. 2. Efecto de la concentración de ácido indolbutírico (AIB), estratificación, tiempo de colecta y el tipo de selva en la formación de raíces en estacas de *S. mombin*.

• Valor acumulado de estacas con raíz      Las barras indican el error estándar

### 6.3. Formación de Hojas

Para la formación de hojas (Fig. 3) la concentración de hormonal ( $F_{(4, 119)} = 2.70$ ,  $p = 0.0362$ ) y el tipo de selva ( $F_{(1, 119)} = 62.59$ ,  $p = 0.000$ ) tuvieron un efecto significativo. Las interacciones significativas fueron entre: la concentración de hormona y la estratificación ( $F_{(4, 119)} = 2.98$ ,  $p = 0.038$ ), la estratificación y el tipo de selva ( $F_{(1, 119)} = 79.16$ ,  $p = 0.000$ ), el tiempo de corte y el tipo de selva ( $F_{(1, 119)} = 25.87$ ,  $p = 0.000$ ), y entre la concentración de hormona, el tiempo de corte y el tipo de selva ( $F_{(4, 119)} = 4.60$ ,  $p = 0.0021$ ).

El análisis de rango múltiple indicó que hay una formación de hojas significativamente mayor en las estacas de Los Tuxtlas, en las concentraciones hormonales (0, 2500 y 5000), sin importar ni la hora de recolecta, ni el tratamiento de estratificación.

En el análisis de regresión sólo se observaron relaciones significativas en las estacas de Los Tuxtlas, recolectadas por la mañana y por la tarde que fueron estratificadas (Fig. 3b, f), la formación de hojas fue inversamente proporcional a la concentración hormonal. Esta relación fue casi lineal en las estacas estratificadas, recolectadas por la mañana (Fig. 3f), mientras que en las recolectadas por la tarde y estratificadas se observó que en las concentraciones 0, 2500 y 5000 la formación de hojas fue más alta que en las otras dos concentraciones de hormona (Fig. 3b). En general la formación de hojas fue mayor para las estacas recolectadas en la selva de Los Tuxtlas.



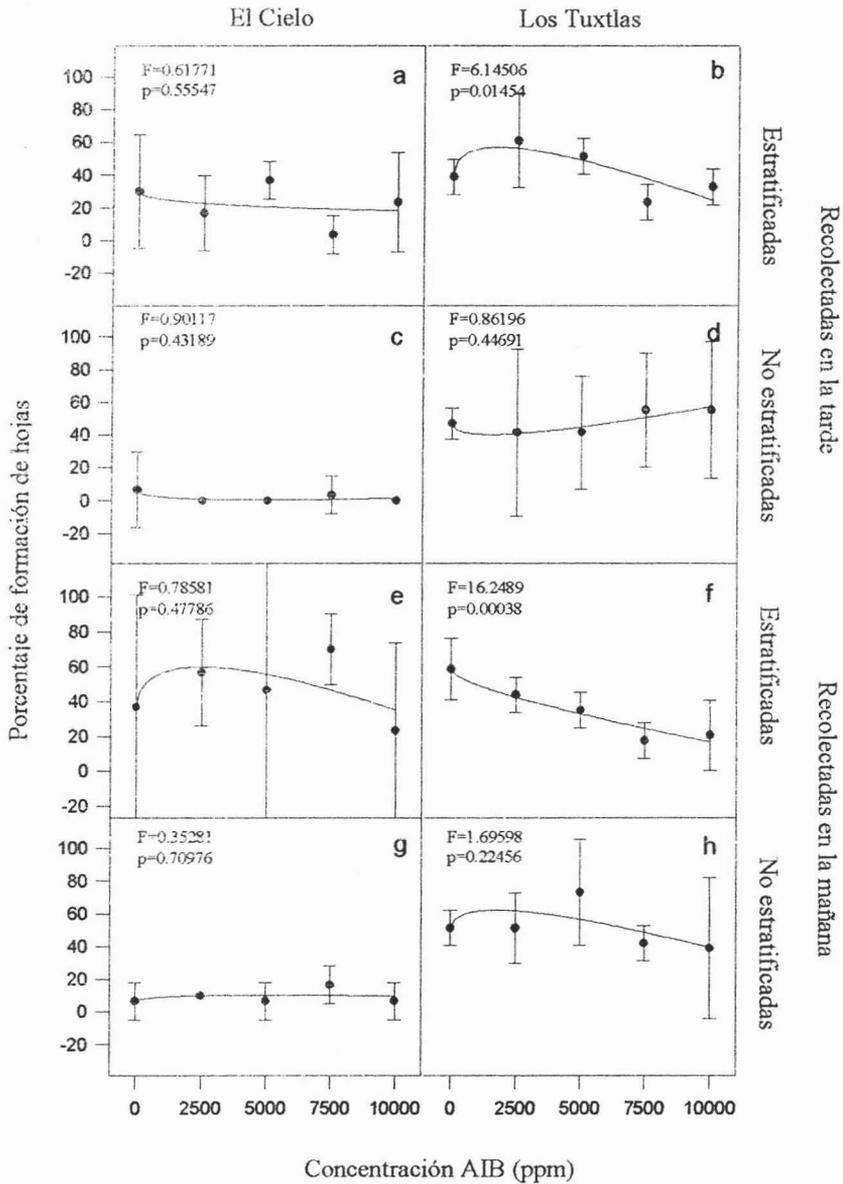


Fig. 3. Efecto de la concentración de ácido indolbutírico (AIB), estratificación, tiempo de colecta y el tipo de selva en la formación de hojas en estacas de *S. mombin*.

• Valor acumulado de estacas con hojas Las barras indican el error estándar

#### 6.4. Mortalidad

En la mortalidad (Fig. 4) tuvieron efecto significativo la concentración de AIE ( $F_{(4, 119)} = 4.256, p = 0.0036$ ), la estratificación ( $F_{(1, 119)} = 21.444, p = 0.000$ ), el tiempo de corte ( $F_{(1, 119)} = 34.515, p = 0.000$ ) y el tipo de selva ( $F_{(1, 119)} = 4.745, p = 0.0323$ ). Las interacciones significativas fueron entre: la concentración hormonal y la estratificación ( $F_{(4, 119)} = 7.206, p = 0.0001$ ), el tiempo de corte y la selva ( $F_{(1, 119)} = 82.807, p = 0.000$ ); y entre la concentración hormonal, la estratificación, la hora de corte y el tipo de selva ( $F_{(4, 119)} = 6.140, p = 0.0002$ ). El análisis de rango múltiple indica que las estacas cortadas en Los Tuxtlas tuvieron una mortalidad mayor (Fig. 4b, d, f, h). Lo mismo ocurrió cuando se aplicó a las estacas hormona en una concentración de 10000 ppm, cuando se estratificaron o cuando fueron cortadas en la tarde.

El análisis de regresión entre la mortalidad y la concentración hormonal fue significativo para las estacas recolectadas en la tarde en Los Tuxtlas (Fig. 4b, d) y para las estacas de El Cielo recolectadas en la tarde y en la mañana estratificadas (Fig. 4a, e), pero las tendencias fueron distintas, en el caso de las estacas de Los Tuxtlas recolectadas por la tarde no estratificadas (Fig. 4d) hubo una relación negativa con la concentración hormonal, mientras que en las de Los Tuxtlas recolectadas por la tarde y estratificadas, al igual que en las estacas de El Cielo recolectadas por la tarde y la mañana estratificadas (Fig. 4a, b, e), los valores más altos de mortalidad se presentaron en las concentraciones 0 y 10 000 ppm. En general el menor porcentaje de mortalidad se observó en las estacas recolectadas en la mañana sin estratificar para ambas selvas.



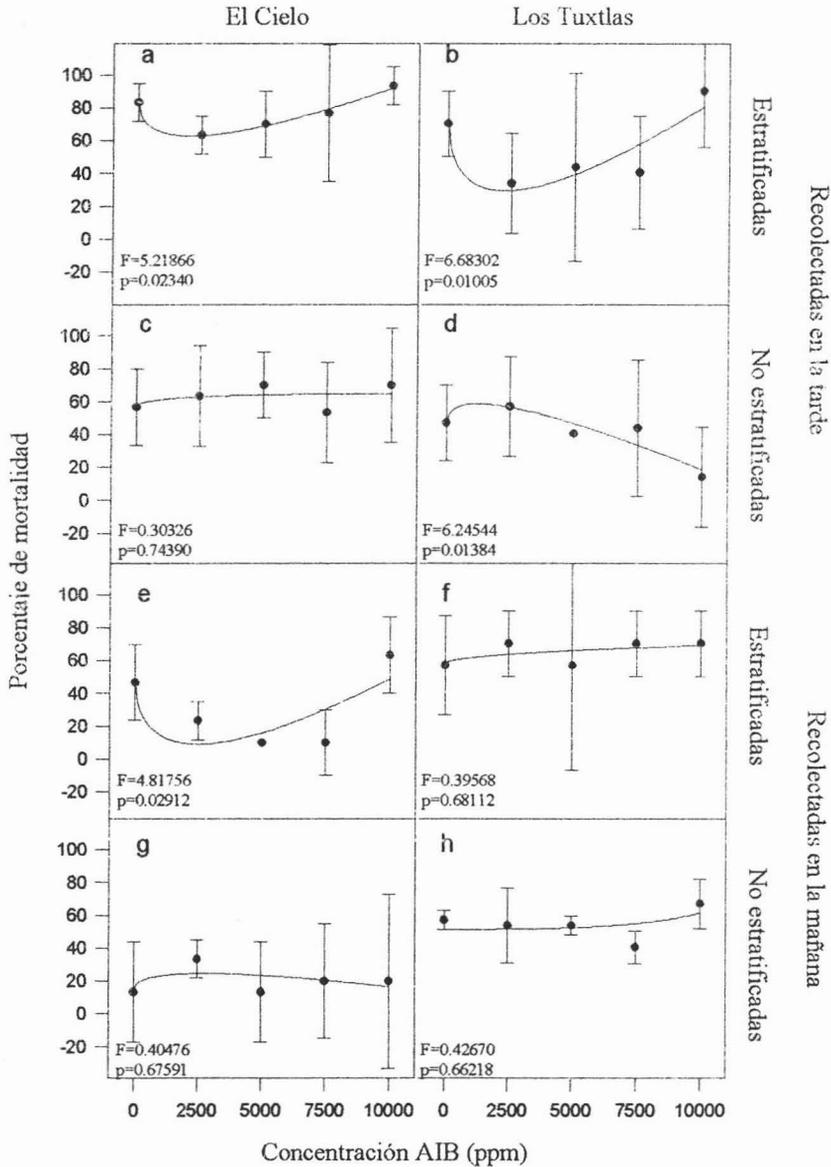


Fig. 4. Efecto de la concentración de ácido indolbutírico (AIB), estratificación, tiempo de colecta y el tipo de selva sobre la mortalidad en estacas de *S. mombin*.

• Valor acumulado de estacas muertas      Las barras indican el error estándar

### 6.5 Relación Entre la Formación de Callos y la Formación de Raíces

El análisis de correlación mostró que existe una correlación muy baja entre el callo y la raíz, por lo que no afirma que si se forma el callo se formará la raíz. La formación del callo en *Spondias mombin* no es una garantía de que se formará la raíz.

	C	R
C	1.0000	0.6692
R	0.6692	1.0000

C = callo  
R = raíz

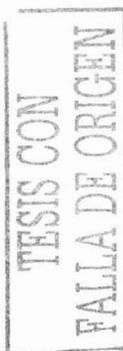
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1. Efecto de la Concentración Hormonal en la Formación de Callos, Raíces, Hojas y

#### Mortalidad

Para *S. mombin* las concentraciones hormonales en las que se obtuvo mayor formación de callos y raíces fueron las de 2500 y 5000 ppm para los primeros y 2500 ppm para las últimas, aunque en general los porcentajes de enraizamiento que se presentaron fueron bajos y menores en comparación con la formación callos. Se ha documentado ampliamente que la aplicación de auxinas exógenas induce e incrementa el enraizamiento de estacas (Taiz y Zeiger, 1991; Baldini, 1992; Salisbury y Ross, 1992; Iglesias et al., 1996; Mesén et al., 1997; Alegre et al., 1998; Hartmann y Kester, 1998; de Andres et al., 1999; Alagesabooopathi y Balu, 2000), además aceleran el proceso de enraizamiento por lo que su aplicación es una ventaja que incrementa las probabilidades de sobrevivencia de las estacas (Aminah et al., 1995). Sin embargo, las distintas especies requieren concentraciones particulares para enraizar. De acuerdo con Hartmann y Kester (1998), las concentraciones que indujeron mayor enraizamiento en *S. mombin* fueron las que se usan regularmente en estacas de madera semidura (del mismo tipo que *S. mombin*), e inducen el enraizamiento con moderada facilidad; aunque en nuestro caso los resultados no fueron altos, estas concentraciones relativamente bajas produjeron los mejores porcentajes de formación de raíces. Por otra parte, la concentración de 10000 ppm produjo muy pobres resultados, esto se pudo deber a que se superó el nivel óptimo (Baldini, 1992), las concentraciones altas tienen un efecto inhibitorio al estimular la producción de sustancias que retardan el alargamiento de las raíces (Taiz y Zeiger, 1991; Salisbury y Ross, 1992). Resultados similares se reportan para *Shorea macrophylla* (Lo, 1985); *Shorea leprosula* (Aminah et al., 1995); *Milicia excelsa* (Ofori et al., 1996); *Bixa orellana* (San Miguel et al., 1999);



*Buddleia cordata* (Ramos, 2001) y *Schizolobium amazonicum* (Rosa y Pinheiro, 2001) en los que el incremento de la concentración hormonal disminuyó la capacidad de enraizamiento de las estacas.

Las concentraciones hormonales bajas y medias (0, 2500 y 5000 ppm) aparentemente tuvieron efecto en la formación de hojas, en especial en las estacas que fueron recolectadas en Los Tuxtlas. Las auxinas se han relacionado con la dominancia apical y con la formación de hojas (Baldini, 1992), lo cual es muy importante porque producen auxinas y carbohidratos que son transportados hacia la base del tallo, interviniendo en el desarrollo de las raíces (Salisbury y Ross, 1992; Hartmann y Kester, 1998). A diferencia de lo encontrado en *S. mombin*, en otras especies se ha reportado el efecto inhibitorio del AIB en la formación de hojas, como en *Milicia excelsa* (Ofori et al., 1996) y en *Cordia alliodora* (Mesén et al., 1997); en las que la aplicación de AIB en altas concentraciones redujo la producción y crecimiento de brotes en las estacas, esto se ha atribuido a que el AIB incrementa el transporte de sustancias a la zona de enraizamiento.

Por otra parte algunos autores mencionan que para la formación de brotes y hojas tienen mayor importancia las reservas que se encuentran en la estaca y la luz (Taiz y Zeiger, 1991; Baldini, 1992). En diversos estudios se ha relacionado la presencia de hojas en las estacas con buenos resultados de enraizamiento, (Díaz et al., 1995; Ofori et al., 1996; Shiemo et al., 1996 y Aminah et al., 1997); en estos estudios se observa que un área foliar óptima permite que exista un equilibrio entre la fotosíntesis y la transpiración, lo que influye en la capacidad de las estacas para enraizar y su sobrevivencia; por lo que la presencia de hojas en *S. mombin* fue una referencia de la salud de la estaca y predice una mayor probabilidad de sobrevivencia de las estacas aún en aquellas en las que no se presentaba el enraizamiento. Aunque el riesgo de pérdida excesiva de agua por



transpiración debe controlarse con un buen suministro de agua o con el control de la superficie foliar, ya que la deshidratación puede conducirlos a la muerte (Iglesias et al., 1996).

Además de haber inducido un bajo enraizamiento, los mayores porcentajes de mortalidad se presentaron en la concentración de 10000 ppm debido a que las altas concentraciones hormonales inhiben funciones como el crecimiento y desarrollo en las plantas e incluso podrían causar la muerte de las células (Salisbury Ross, 1992; Haritana Kester, 1998). El incremento de la mortalidad de las estacas, relacionado con la aplicación de concentraciones hormonales altas, se confirma en trabajos realizados en diferentes especies: *Shorea macrophylla* (Lo, 1985), *Milicia excelsa* (Ofori et al., 1996) y *Bixa orellana* (San Miguel et al., 1999).

## **7.2. Efecto de la Estratificación en la Formación de Callos, Raíces, Hojas y Mortalidad**

La aplicación de estratificación a las estacas de *S. mombin* redujo la formación de callos, raíces y hojas. Esto podría tener relación con el hábitat al que pertenece *S. mombin*, y a su filiación tropical (Ibarra, 1985; Francis, 1992), ya que en especies templadas la estratificación es recomendable (Baldini, 1992; Iglesias et al., 1996), debido a que en estas especies las condiciones climáticas a veces son inapropiadas para que las estacas enraícen o éstas necesitan madurar fisiológicamente. En especies templadas también se ha visto que el tratamiento de estratificación puede no afectar en sentido alguno la capacidad de enraizamiento (Pryor, 1963; Van de Pol y Vogelezang, 1983; Davis y Potter, 1985). Los resultados obtenidos en especies como *Bursera simaruba*, *Dorycnium pentaphyllum*, *D. Hirsutum*, *Gliricidia sepium* y *Omphalea oleifera* (Alegre et al. 1998; García, 2002) confirman que la estratificación disminuye la capacidad de las estacas de especies



tropicales para formar callos y raíces. Por otra parte, las estacas estratificadas de *S. mombin* también necesitaron la aplicación local de auxina para estimular el enraizamiento.

La estratificación en estacas sin tratamiento hormonal o tratadas con 10000 ppm de AIB tuvo un efecto aditivo en *S. mombin*, elevando la mortalidad. Cuando se estratifica con temperaturas bajas se puede causar una reducción en la síntesis y translocación de sustancias importantes para el crecimiento y desarrollo de la estaca (Holcomb, 1994) creando un efecto posiblemente fitotóxico (Baldini, 1992).

### **7.3. Efecto del Tiempo de Corte en la Formación de Callos, Raíces, Hojas y**

#### **Mortalidad**

En *Spondias mombin* las estacas recolectadas por la mañana, antes de que recibieran la mayor incidencia de radiación solar, presentaron mayor formación de callos y de raíces sobre todo las que no fueron estratificadas, ya que se han hidratado durante la noche y su corte en la mañana evita su rápida deshidratación; lo que conlleva la posibilidad de que en la estaca se puedan transportar las sustancias y reservas necesarias para el enraizamiento (Hartmann y Kester 1998). La alta radiación que reciben las plantas durante las horas de mayor incidencia de radiación solar puede influenciar el enraizamiento de las estacas, ya que la concentración y la translocación de hormonas así como de la producción de nutrientes se ven afectados. En *Azadirachta indica* se confirma que la alta radiación disminuye el enraizamiento de las estacas (Palanisamy y Kumar, 1997).

A diferencia del enraizamiento, la hora en que se recolectaron las estacas no afectó la formación de hojas, más bien otros factores, como la concentración hormonal aplicada influyeron en esto. Asimismo, los menores porcentajes de mortalidad se presentaron en las estacas recolectadas por la mañana y que no fueron estratificadas. En consecuencia, la



mortalidad fue mayor en las estacas recolectadas por la tarde, ya que el contenido de agua de las estacas fue probablemente menor debido a la evapotranspiración diurna.

#### **7.4. Efecto del Tipo de Selva en la Formación de Callos, Raíces, Hojas y Mortalidad**

Existen algunas diferencias entre los sitios de estudio en los que se recolectaron las estacas, las Reservas de la Biósfera Los Tuxtlas y El Cielo. Un factor que se considera puede influir en las características morfofisiológicas de las especies de plantas en cada sitio es la cantidad de lluvia que cae en estos sitios, ya que esto se traduce en la disponibilidad de agua durante el año, lo cual se ha visto que afecta la anatomía de la madera como su color, densidad y dureza (Barajas-Morales, 1985). En los Tuxtlas se presenta una precipitación anual de 4000 a 5000 mm y en El Cielo de 1000 a 1500 mm (Dirzo, 1991; Guevara et al. 2004; <http://www.inicio2000.com.mx/elcielo/viaje.html>). Estudios realizados por Barajas-Morales (1985, 1987), en los que se comparan la gravedad específica de distintas especies de dos selvas en México, la selva tropical caducifolia en Chamela, Jal. y la selva tropical Los Tuxtlas, Ver., demuestran que la humedad tiene un efecto sobre la estructura de la madera, ya que las especies del sitio con menor disponibilidad de humedad presentan maderas más duras y colores más oscuros. La dureza de la madera en algunos casos puede dificultar el enraizamiento de las estacas (Hartmann y Kester, 1998) así como el transporte de auxina, que es llevado a cabo a través de las células y que requiere que la membrana y pared celulares sean flexibles (Taiz y Zeiger, 1991).

Aunque en general las especies de la selva con menor disponibilidad de humedad presentan mayor gravedad específica puede haber variaciones dentro de un mismo género. Por ejemplo en *Spondias purpurea* y *Spondias radlkoferi* de Chamela y Los Tuxtlas respectivamente, géneros relacionados con *S. mombin*, la especie de Los Tuxtlas tiene una

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

mayor gravedad específica (0.40 a 0.56), mientras que es menor (0.31) en la especie de Chamela, para la cual se esperaría una gravedad específica mayor, debido a que crece en el sitio con menor disponibilidad de humedad (Barajas-Morales, 1987; et al., 1989; et al., 1997). Sin embargo, en general, de acuerdo con estos datos, se podría decir que la madera que presentan las especies de este género es blanda a semidura (Barajas-Morales et al., 1989; et al., 1997) con moderada facilidad para enraizar (Hartmann y Kester, 1998).

Resulta interesante que en *S. mombin* los porcentajes de enraizamiento fueron un poco mayores para las estacas recolectadas en El Cielo, aunque en general fueron bajos para ambos sitios, lo que sugiere que la madera de las estacas recolectadas en este sitio es un poco más suave, y podría permitir un mejor movimiento tanto de nutrientes como de auxinas a la base de la estaca. Esto parece contrario a lo esperado de acuerdo con la predicción general planteada por Barajas-Morales (1985; 1987), la cual dice que las especies de la selva seca presentan maderas con mayor gravedad específica, son más oscuras y más duras que las especies de la selva húmeda; aunque corresponde a las características de la madera de las especies de este mismo género reportadas por esta autora.

Las estacas recolectadas en Los Tuxtlas presentaron una mayor formación de brotes y hojas, probablemente se debe a que el transporte de auxinas hacia la base se ve limitado por una mayor dureza de la madera. A pesar de que no hubo una mayor distribución de las auxinas en toda la estaca, los niveles endógenos de la auxina no causaron un efecto fitotóxico que inhibiera la formación de las hojas. En estacas de esta selva se presentó una mayor mortalidad, lo que pudiera tener relación con la transpiración foliar y con el hecho de que la formación de hojas compite con el proceso de rizogénesis, ya que tanto las



reservas hídricas como las nutritivas se agotan, llevando a la marchitez y muerte de las estacas (Baldini, 1992).

### **7.5. Relación Entre la Formación de Callos y la Formación de Raíces**

En *Spondias mombin* se observó que las raíces emergen a través del callo, aparentemente la formación del callo es un prerequisite para que en esta especie las raíces se formen; aunque los porcentajes de formación de callos en los diferentes tratamientos fueron mayores que los obtenidos para la formación de raíces. En el trabajo de García (2002) con estacas de *Bursera simaruba* también se presentaron promedios altos de estacas que formaron callos y promedios bajos en el enraizamiento de las estacas.

La función del callo es proteger a la estaca de la desecación y evitar la entrada de patógenos que la afecten (Hartmann y Kester, 1998). En trabajos realizados con *Malus pumila* (manzano) y en *Pelargonium hortorum* se confirma que el proceso de enraizamiento se inicia con la formación del callo y que éste es necesario para que las raíces se formen (Mackenzie et al., 1986; Niedbalski y Neely, 1983)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 8. CONCLUSIONES

- Las concentraciones de 2500 y 5000 ppm de AIB indujeron la formación de callos y favorecieron el enraizamiento en *Spondias mombin*.
- En ambas selvas el corte de las estacas en la mañana y su no estratificación favoreció la formación de callos, raíces y su sobrevivencia.
- Las estacas recolectadas en El Cielo presentaron mayores porcentajes de enraizamiento, aunque en general estos porcentajes fueron bajos.
- En las estacas recolectadas en Los Tuxtlas la formación de hojas se vio favorecida.
- La propagación vegetativa de *Spondias mombin* puede ser una herramienta útil en la restauración de los sitios de estudio, ya que es una especie nativa la cual tiene diferentes y múltiples usos, así como una capacidad adecuada para reproducirse asexualmente en forma masiva.



## 9. BIBLIOGRAFIA

- Alagesaboopathi C. y S. Balu. 2000. Vegetative propagation of *Andrographis elongata* (Vahl) T. And. by stem cuttings. J. Econ. Taxon. Bot. 24(2): 409-412.
- Alegre, J., J. Toledo, A. Martínez, O. Mora y E. F. De Andrés. 1998. Rooting ability of *Dorycnium* spp. under different conditions. Scientia Horticulturae 76: 123-129.
- Aminah, H., J. McP. Dick, R.R. B. Leakey, J. Grace y R. I. Smith. 1995. Effect of indole butyric acid (IBA) on stem cuttings of *Shorea leprosula*. Forest Ecology and Management 72: 199-206.
- Aminah, H., J. McP. Dick y J. Grace. 1997. Rooting of *Shorea leprosula* stem cuttings decrease with increasing leaf area. Forest Ecology and Management 91: 247-254.
- Baldini E. 1992. Arboricultura General. Mundi-Prensa. Madrid.
- Ball, V. 1991. Ball Red Book: greenhouse growing, 6ª ed. Reston, Publishing Co. USA.
- Barajas-Morales, J. 1985. Wood structural differences between trees of two tropical forest in México. IAWA Bulletin n.s., 6 (4): 355-341.
- Barajas-Morales, J. 1987. Wood specific gravity in species from two tropical forest in Mexico. IAWA Bulletin n.s., 8 (2):143-148.
- Barajas-Morales, J., C. León. 1989. Anatomía de maderas de México: Especies de una selva baja caducifolia. Instituto de Biología. UNAM. México
- Barajas-Morales, J., G. Ángeles, P. Solís. 1997 Anatomía de maderas de México: Especies de una selva alta perennifolia. Instituto de Biología. UNAM. México



- Bradshaw, A. 1995. Restoration ecology as a science. En Jordan, M., E. Gilpin y J. Abner. Restoration Ecology. Cambridge University Press. Cambridge.
- Carabias, J., V. Arriaga y V. Cervantes. 1994. Los recursos naturales de México y el desarrollo. En: Moncayo, P y J. Woldenberg (Eds.). Desarrollo, desigualdad y medio ambiente. Cal y Arena. México. p: 303-345.
- Cervantes, V. 1996. La reforestación en la Montaña de Guerrero: una alternativa con leguminosas nativas. Tesis de Maestría. Fac. Ciencias. UNAM. México.
- Clark, D. 1990. The role of disturbance in the regeneration of neotropical moist forest. En: Bawa, K. y M. Hadley (Eds.) Reproductive Ecology of Tropical Forest Plants. UNESCO y The Partenon Publishing Group. USA. Vol 7: 291-315.
- Creelman, R. y J. Mullet. 1997. Oligosaccharinas, brassinolides and jasmonates: Nontraditional regulators of plant growth, development, and gene expression. The Plant Cell 9: 1211-1223.
- Davies, F. T. Jr.; J. E. Lazarte y J. N. Joiner. 1982. Initiation and development of roots in juvenile and mature leafbud cuttings of *Ficus pumila* L. Amer. J. Bot. 69:804-11.
- Davies, F. T. Jr.; Davis T. D. y D. E. Kester. 1994. Commercial importance of adventitious rooting to horticulture. En: T. D. Davis y B. E. Haissig, (Eds.) Biology of adventitious root formation, Plenum Press. Nueva York. p: 53-60.
- Davis, T. D. y T. R. Potter. 1985. Carbohydrates, water potencial and subsequent rooting of stored *Rhododendron* cuttings. HortScience 20:292-293.
- Davis, T. D. y B. E. Hassig. 1990. Chemical control of adventitious root formation in cuttings. Plant Growth Reg. Soc, Amer. Quart. 18(1):1-17.



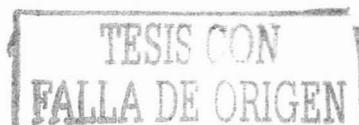
- De Andres E. F., J. Alegre, J. L. Tenorio, M. Manzanares, F. J. Sánchez y L. Ayerbe. 1999. Vegetative propagation of *Colutea arborescens* L., a multipurpose leguminous shrub of semiarid climates. *Agroforestry Systems* 46: 113-121.
- Desrochers, A.; Rochefort, L. y J. Savard. 1998. Avian recolonization of eastern Canadian bogs after peat mining. *Can. J. Zool.* 76: 989-997.
- Díaz Y., J. Viera y G. Vargas. 1995. Posibilidad de propagación asexual por estacas en *Pachecoa venezuelensis* Burkart. *Agronomía Tropical* 45(4): 551-559.
- Dirzo, R. 1991. Rescate y restauración ecológica de Los Tuxtlas. *Ciencia y Desarrollo.* 17 (97):33-45.
- Dykeman, B. 1976. Temperature relationship in root initiation and development of cuttings. *Comb. Proc. Intl. Plant Prop. Soc.* 26:201-207.
- Esau, K. 1977. *Anatomy of seed plants.* John Wiley & Sons. USA.
- Fosket, D. 1994. *Plant Growth and Development. A molecular approach.* Academic Press. San Diego.
- Francis, J. K. 1992. *Spondias mombin* L. Hogplum. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. Nueva Orleans.
- Gasper, T. y M. Hofinger. 1989. Auxin metabolism during rooting. En *Adventitious root formation in cuttings* T. D. Davis, B. E. Hassig y N. Sankhla, (eds.) Discorides Press. Portland.
- García, X. 2002. Efectos del ácido indolbutírico y de la estratificación en la formación de callos y de raíces en estacas de *Bursera simaruba*, *Gliricidia sepium* y *Omphalea oleifera*, Tres Especies Potencialmente Útiles. Tesis de Licenciatura (Biología). UNAM. México.



- Guevara S., G. Sánchez-Ríos y R Landgrave. 2004. La Deforestación. En: Guevara S., J. Laborde y G. Sánchez-Ríos (Eds.) Los Tuxtlas, el paisaje de la sierra. Instituto de Ecología, A. C. México. 287p.
- Guevara S., J. Laborde y G. Sánchez-Ríos (Eds.) 2004. Los Tuxtlas. El paisaje de la sierra. Instituto de Ecología, A. C. México. 287p.
- Girouard R. 1967. Initiation and development of adventitious roots in stem cuttings of *Hedera helix*. Canadian Journal of Botany. 45:1877-1885.
- Hagggar, J., K. Wightman y R. Fisher. 1997. The potencial of plantations to foster woody regeneration within a deforested landscape in lowland Costa Rica. Forest Ecology and Management 99: 55-64.
- Haissig, B. E. 1972. Influences of endogenous auxin and applied gibberelic acid. Plant Physiology 49:886-92.
- Harlan, 1992. Crops and Man, 2ª ed. Amer. Soc. of Agron. Inc. Wisconsin: Madison
- Hartmann, H. y D. Kester. 1998. Propagación de Plantas. Prentice Hall Inc. Nueva Jersey.
- Hiller, C. 1951. A estudy of the origin and development of callus and root primordia of *Taxus cuspidata* with reference to the effects of growth regulators. Tesis de Maestría. Universidad de Cornell. Ithaca.
- Hobbs, R. S. y Norton. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. Restoration Ecology 4(2):93-110.
- Holcomb, J. E. 1994. Bedding Plants IV. Ball Publishing. Batavia, Illinois
- Hopkins, W. 1999. Introduction to plant physiology 2ª. ed. John Wiley & Sons. USA.



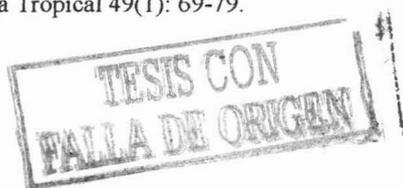
- Ibarra, G. 1985. Estudios preliminares sobre la flora leñosa de la estación de biología tropical, Los Tuxtlas, Ver. Méx. Tesis de Licenciatura (Biología). Fac. Ciencias UNAM. México.
- Iglesias, L, R. Prieto y B. Alarcón. 1996. La propagación vegetativa de plantas forestales. *Ciencia Forestal en México* 21 (79): 15-41.
- Jimenez, H. y J. Arnesto. 1992. Importance of the soil seed bank of disturbed sites in chilean matorral in early secondary succession. *Journal of Vegetation Science* 3:579-586.
- Kende, H. y J. Zeevaart. 1997. The five classical plant hormones. *The Plant Cell* 9:1197-1210.
- Kolek J. y V. Kozinka. 1992. *Physiology of the Root System*. Kluwer Academic Publishers. Londres.
- Lo, Y. 1985. Root initiation of *Shorea macrophylla* cuttings: effects of node position, growth regulators and misting regime. *Forest Ecology and Management* 12: 43-52.
- Lorbiecke R. y M. Sauter. 1999. Adventitious root growth and cell-cycle induction in deepwater rice. *Plant Physiology* 119:21-29.
- Luken, J. 1990. *Directing ecological succession*. Chapman and Hall. USA.
- Mackenzie, B. H. Howard y R. S. Harrison-Murray. 1986. The anatomical relationship between cambial regeneration and root initiation in wounded winter cuttings of apple rootstock M.26. *Annals of Botany* 58:649-661.
- Martínez, R. E. 1996. La restauración ecológica. *Ciencias* 43: 56-61.
- Masera, O.; M. Ordoñez y R. Dirzo. 1992. Emisiones de carbono a partir de la deforestación en México. *Ciencia* 43:151-153.



- Mesén, F., A. C. Newton y R.R. B. Leakey. 1997. Vegetative propagation of *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavon) Oken: the effects of IBA concentrations, propagation medium and cutting origin. *Forest Ecology and Management* 92: 45-54.
- Moore, T. 1989. *Biochemistry and Physiology of Plants Hormones*. 2a. ed. Springer-Verlag. Nueva York.
- Niedbalski C. M. y D. Neely. 1983. The histology and histochemistry of the wound-healing process in geranium cuttings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108(3):496-502.
- Ofori, D. A., A.C. Newton, R.R. B. Leakey y J. Grace. 1996. Vegetative propagation of *Milicia excelsa* by leafy stem cuttings: effects of auxin concentration, leaf area and rooting medium. *Forest Ecology and Management* 84: 39-48.
- Palanisamy K. y P. Kumar. 1997. Effect of position, size of cuttings and environmental factors on adventitious in neem (*Azadirachta indica* A. Juss). *Forest Ecology and Management* 98: 277-280
- Parrota, J., J. Turnbull. y N. Jones. 1997. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management* 99: 1-7
- Poliszulk H., W. Silva, M. Ferrer, E. Betancourt y G. Rivero. 1999. Efectos de distintos tratamientos hormonales en la inducción de raíces adventicias en estacas apicales de "Búcaro" *Bucida buceras*. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 16(1): 71-75.
- Poorter, L., F. Bongers, R. van Rompaey, y M. de Klerk. 1996. Regeneration of canopy tree species at five sites in West African moist forest. *Forest Ecology and Management* 84: 61-69.



- Powers, J., J. Haggard, y R. Fisher 1997. The effect of overstorey composition on understorey woody regeneration and species richness in 7 year old plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 99: 43-54
- Pryor, R. L. y R. N. Stewart. 1963. Storage of unrooted azalea cuttings. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 82:483-484.
- Puig, H. y R. Bracho. (Eds.) 1987. El bosque mesófilo de montaña de Tamaulipas. Instituto de Ecología, A.C. México. pp.186
- Ramos P. 2001. Propagación vegetativa por estacas de especies donantes de la reserva del Pedregal de San Angel. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias. UNAM. México.
- Ritchie, G. A. 1994. Commercial applications of adventitious rooting to forestry. En: Davis T. D. y B. E. Hassig (Eds.) *Biology of adventitious root formation*, Plenum Press. Nueva York.
- Rojas G. M. y H. Ramírez. 1998. Control hormonal del desarrollo de las plantas. Ed. Limusa-Noriega. México.
- Rosa, L. y K. A. Pinheiro. 2001. Propagacao vegetativa de estacas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber Ex Ducke) obtidas de material juvenil e imersas em ácido indol-3-butírico. *Rev. Cien. Agrár., Belém.* 0035: 79-88.
- Salisbury, F. y Ross C. 1992. *Plant Physiology*. 4a. ed. Wadsworth Publishing Company. Belmont, CA.
- San Miguel, F., C. Michelangeli de Clavijo, C. Basso y A. Trujillo. 1999. Enraizamiento de estacas de onoto. *Agronomía Tropical* 49(1): 69-79.



- Shiembo, P. N., A. C. Newton y R.R. B. Leakey. 1996. Vegetative propagation of *Irvingia gabonensis*, a West African fruit tree. *Forest Ecology and Management* 87: 185-192.
- Smith, D. y T. Torpe. 1975. Root initiation in Cuttings of *Pinus radiata* seedlings. *Journal of Experimental Botany* 26(91):184-192.
- Soberón, J. 1990. Restauración ecológica en el Ajusco medio. *Oikos* 5:4
- Taiz L., Zeiger E. 1991. *Plant Physiology*. The Benjamin/Cumming Publishing Company. Inc. C.A.
- Thimann, K. V., y F. W. Went. 1934. On the chemical nature of the root-forming hormone. *Proc. Kon. Ned. Akad. Wet.* 37:456-59.
- Thimann, K. V., y J. B. Koeptli. 1935. Identity of the growth-promoting and root-forming substances of plants. *Nature* 135: 101-102.
- Urban, D.; O'Neill, R. y Shugart H. 1987. Landscape ecology. *Bioscience* 37(2).
- Van de Pol, P. A. y J. V. M. Vogelezang. 1983. Accelerated rooting of carnation 'Red Baron' by temperature pretreatment. *Scientia Hort.* 20:287-294.
- Van de Pol, P. A. 1988. Partial replacement of the rooting procedure of *Chrysanthemum morifolium* cuttings by pre-rooting storage in the dark. *Acta Hort.* 226:519-524.
- Vázquez-Yanes, C. y A. Batis. 1996. La restauración de la vegetación, árboles exóticos vs. árboles nativos. *Ciencias* 43: 16-23.
- Vázquez-Yanes, C. y V. Cervantes. 1993. Estrategias para la reforestación con árboles nativos de México. *Ciencia y Desarrollo* 11:52-58.
- Waisel, Y. 1991. *Plant Roots*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York.



- Wiesman Z. y S. Lavec. 1995. Enhancement of IBA stimulatory effect on rooting of olive cultivar stem cuttings. *Scientia Horticulturae* 62: 189-198.
- White J. y Lovell P. 1984. Anatomical changes which occur in cuttings of *Agathis australis* (D. Don) Lindl. *Annals of Botany* 54:633-645.
- Zohary, D. y P. Spiegel-Roy. 1975. Beginnings of fruit growing in the old world. *Science* 187(4174): 319-327.
- <http://www.inicio2000.com.mx/elcielo/viaje.html>
- <http://www.ine.gob.mx/ucanp/>

