



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

PROPAGACION VEGETATIVA POR ESTACAS DE ESPECIES
DOMINANTES DE LA RESERVA DEL PEDREGAL DE
SAN ANGEL.

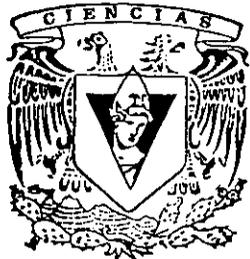
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

CARLOS RENATO RAMOS PALACIOS



FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM

DIRECTOR DE TESIS: R. VICTOR LUIS BARRADAS MIRANDA



FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

M. EN C. ELENA DE OTEYZA DE OTEYZA
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis: Propagación vegetativa por estacas de especies dominantes de la Reserva del Pedregal de San Angel

realizado por Carlos Renato Ramos Palacios

con número de cuenta 9236082-6 , pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis

Propietario Dr. Víctor Luis Barradas Miranda

Propietario Dra. Alma Delfina Lucía Orozco Segovia

Propietario Dra. María del Pilar Huante Pérez

Suplente Dra. Alicia Enriqueta Brechu Franco

Suplente M. en C. Agustín de Jesús Quiroz Flores

FACULTAD DE CIENCIAS
U.N.A.M.

Consejo Departamental de Biología



Dra. Patricia Ramos Morales

DEPARTAMENTO
DE BIOLOGIA

El más grande árbol ha nacido de una semilla; una torre de nueve pisos ha comenzado por un puñado de tierra, y un viaje de mil leguas se inicia con un paso. (proverbio chino)

***La ciencia es locura, si buen seso no la cura.
(proverbio español)***

***Ciencia sin conciencia sólo es ruina del alma.
François Rabelais***

Dedicado a:

Mis padres Arturo y Eleonora por haberme brindado lo más grande, la vida, y por su gran apoyo y educación.

Mis hermanas Janet y Alaide por compartir conmigo, desde la niñez, los momentos más divertidos y felices en familia.

Mi abuela Maria Luisa por su amor y cariño, así como sus buenos consejos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Víctor L. Barradas por la asesoría y enseñanza durante el trabajo de tesis, así como por su tiempo, apoyo y confianza que depositó en mí.

A la Dra. Alma Orozco, Dra. Pilar Huante, Dra. Alicia Brechu y al M. en C. Agustín Quiroz por sus atinadas sugerencias, comentarios y correcciones a la presente investigación.

A mis profesores y compañeros M en C. María Esther Sánchez, M en C. Guadalupe Barajas, Biol. Ivonne Reyes y Biol. Mario González por sus lecciones, tanto en mis estudios de carrera como en el trabajo de tesis.

A la memoria del profesor de Edafología Dr. Nicolás Aguilera, por su valiosa forma de enseñar y de ver la vida, tanto en los temas académicos como en los cotidianos.

A los amigos y compañeros de laboratorio Angélica Cervantes, Alfredo Ramos, Vinisa Saines y América Plata, por la ayuda que me brindaron durante la fase experimental y el valioso apoyo moral y humano para continuar con el trabajo de tesis. Así, como a Susana Vivar, Lorena Pacheco y Emilio Estrada.

Un especial agradecimiento a Estela Larios, que desde Guadalajara me dio su apoyo y compartió conmigo las altas y bajas que surgieron durante la realización de este trabajo.

A mi padre, con especial cariño, del quien tuve mucha influencia al decidir estudiar la carrera de Biología, por su preocupación y ayuda en todo momento difícil.

A la gente que creyó en mí desde siempre, como mis amigos Alonso, Vidal y Rogelio, con quienes compartí, desde la adolescencia, mis primeras inquietudes por la Ecología. Así como a mis tías Gladys y Lupe Palacios, y mi padrino Enrique Ávila.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser parte de ella y por lo que me ha aportado, desde mi ingreso a la preparatoria hasta la realización del trabajo de tesis de licenciatura.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo de la beca que me otorgó para realizar el trabajo de tesis en el proyecto G0011-N "Restauración ecológica: Investigación básica sobre propagación, establecimiento y sobrevivencia de especies nativas".

INDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN	III
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
2.1 La rizogénesis o el proceso de enraizamiento	2
2.2 El papel de la auxina en la fisiología vegetal y el enraizamiento de estacas	4
2.3 Participación del meristemo apical, yemas, hojas y carbohidratos en el enraizamiento	7
2.4 Características de los tipos de individuos o plantas donantes	8
2.5 Tipos de estacas	9
2.6 Condiciones ambientales en el enraizamiento	10
2.6.1 Condiciones para las estacas de tejidos maduros	10
2.6.2 Condiciones para las estacas de tejidos jóvenes	11
2.7 La Propagación Vegetativa por estacas en la Restauración Ecológica	11
3. HIPÓTESIS	13
4. OBJETIVOS	13
5. MATERIALES Y METODO	14
5.1 Sitio de Estudio	14
5.2 Material vegetal	15
5.3 Selección de los individuos	16
5.4 Procedimiento General	17
5.5 Análisis de resultados	20
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
6.1 Enraizamiento, formación de callo y sobrevivencia de las estacas	21
6.2 Enraizamiento según el tratamiento hormonal	25
6.3 Efecto del tratamiento hormonal en las variables morfológicas	28
6.3.1 Número de raíces primarias	28
6.3.2 Longitud de raíces primarias	31
6.3.3 Número de raíces secundarias	33
6.3.4 Longitud de raíces secundarias	36
6.3.5 Área radicular	38
6.3.6 Peso seco radicular	40
6.3.7 Número de yemas	42
6.3.8 Número de meristemos apicales	45
6.3.9 Número de hojas	47
6.4 Relación entre el diámetro basal y número de raíces primarias en las estacas ..	50
7. CONCLUSIONES	52
8. REFERENCIAS	53

RESUMEN

El estudio de este trabajo comprende la propagación vegetativa por estacas de *Buddelia cordata*, *Dodonaea viscosa*, *Eysenhardtia polystachya* y *Senecio praecox*, especies nativas del Pedregal de San Angel, en la época seca y húmeda y ante diferentes tratamientos hormonales. Se cortaron estacas de tejidos maduros y jóvenes, de individuos previamente seleccionados de los camellones y jardines de Ciudad Universitaria.

Los tratamientos hormonales se elaboraron con AIB purificado, AIB comercial y ANA comercial. La propagación se llevó a cabo en un invernadero con nebulización de agua, en el Instituto de Ecología de la UNAM, y un propagador doméstico. Se evaluó el enraizamiento, sobrevivencia y formación de callo en las estacas. Además se midieron las siguientes variables morfológicas: número de raíces primarias (NRP), longitud de raíces primarias (LRP), número de raíces secundarias (NRS), longitud de raíces secundarias (LRS), área radicular (AR), peso seco radicular (PSR), diámetro basal (DB), número de yemas (NY), número de meristemas apicales (NMA) y número de hojas (NH).

B. cordata tuvo una mayor capacidad de enraizamiento en las estacas de tejidos maduros en la época seca. Tal vez se deba a un equilibrio hormonal del mecanismo de enraizamiento, en esta época. El enraizamiento ante los tratamientos hormonales fue variable en las épocas, mientras que las variables morfológicas se desarrollan mejor en concentraciones hormonales medias y bajas.

La especie *D. viscosa* solo presentó enraizamiento en las estacas foliosas de tejidos jóvenes. Probablemente este tipo de estacas carezca del anillo de esclerenquima continuo, el cual puede ser un impedimento físico en la emergencia de las raíces adventicias. En el enraizamiento las concentraciones hormonales bajas fueron favorables, y de igual forma en las variables morfológicas, siendo el ANA la hormona que dio mejores resultados.

E. polystachya no presentó enraizamiento de las estacas en ninguna época o alguna concentración hormonal. Es necesario realizar estudios de las características anatómicas, fisiológicas y ambientales durante su propagación.

S. praecox fue la especie que obtuvo el mayor porcentaje de enraizamiento de las estacas. La mayor capacidad de enraizamiento se presentó en las estacas de tejidos maduros en la época húmeda. Posiblemente la succulencia en sus tejidos sea un factor importante en la movilización hormonal. Esta especie requirió, preferentemente, de concentraciones medias y bajas para el enraizamiento, y de la misma forma en las variables morfológicas.

Por último, la propagación por estacas empleada en la reforestación con especies nativas, puede ser una vía de solución al problema de la fragmentación de las comunidades naturales, dentro del marco de estudio de la restauración ecológica.

1. INTRODUCCION

Uno de los mayores problemas ecológicos que presenta nuestro país es la alta tasa de deforestación de los bosques y selvas. Entre algunas de sus causas están, un mayor uso del suelo para fines de tipo agrícola, ganadero o comercial. Las consecuencias de esto son, la pérdida de la cubierta vegetal, la reducción de los diferentes tipos de ecosistemas y la disminución de la biodiversidad, entre otros (Vázquez-Yanes y Batis, 1996; Vázquez *et al.*, 1997).

La Reserva del Pedregal de San Angel posee una alta diversidad biológica y especies endémicas, que se encuentran en un proceso de sucesión ecológica (Alvarez *et al.*, 1986). No obstante, el número de especies ha disminuido, al mismo tiempo que la extensión de su área, debido al continuo crecimiento de la Ciudad de México y a la falta de programas de conservación y resguardo (Rojo, 1994). En el caso de la comunidad *Senecionetum praecocis*, se ha reducido de aproximadamente 40 km² iniciales, a una pequeña zona de 1.47 km² dentro del área de la Ciudad Universitaria (Soberón *et al.*, 1991).

La restauración ecológica, utilizando las especies nativas de cada región, ofrece una solución para recuperar, en lo posible, la estructura y composición de las zonas naturales deterioradas en un tiempo relativamente corto (Martínez, 1996; Vázquez-Yanes y Batis, 1996).

Desde hace tiempo las plantaciones y programas de reforestación han utilizado plántulas a partir de semillas, pero en algunos casos estas últimas presentan baja viabilidad, altos niveles de parasitismo o una producción insuficiente de las mismas (Arriaga, 1994). Por esto la propagación vegetativa a través de estacas ha sido una herramienta importante respecto de la propagación sexual, con la ventaja de producir un mismo genotipo deseable a gran escala, de modo uniforme y al mismo tiempo se ahorra el largo periodo de crecimiento juvenil (Leakey *et al.*, 1994). También se pueden reproducir aquellas especies con problemas en la germinación de sus semillas, y las técnicas pueden llevarse a cabo con bajos costos (Longman y Wilson, 1993).

De esta manera, es importante realizar estudios de manejo, domesticación y propagación de las especies nativas potencialmente útiles, con el fin de buscar soluciones al problema de la fragmentación de las comunidades naturales (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

Finalmente el estudio de la propagación por estacas encaminado a la reforestación de las especies arbóreas que son nativas del Pedregal de San Angel, es de gran importancia ya que en esta zona no se han hecho trabajos de esta naturaleza.

El presente trabajo forma parte del proyecto "Restauración ecológica: investigación básica sobre propagación, establecimiento y sobrevivencia de plantas nativas" (G0011-N) patrocinado por el CONACYT.

2. ANTECEDENTES

2.1 La rizogénesis o el proceso de enraizamiento

La propagación vegetativa es el mecanismo que permite multiplicar o reproducir una planta a partir de sus partes vegetativas. Estas partes pueden ser hojas, raíces o tallos (Iglesias *et al.*, 1996). Existen dos propiedades de las células vegetales vivas, que son fundamentales para la propagación vegetativa: la totipotencialidad y la dediferenciación.

La totipotencialidad es la capacidad que tiene una célula vegetal para reproducir todos los órganos de una planta y sus funciones, debido a que porta la información genética necesaria para ello. La dediferenciación es un proceso que causa la transformación de células especializadas (diferenciadas) a células meristemáticas (dediferenciadas), invirtiendo todas las funciones celulares respectivamente (Hartmann, 1997). Las células de la mayor parte de los tejidos vegetales presentan totipotencialidad y dediferenciación, aunque existen células como las traqueidas, vasos leñosos del xilema y los elementos cribosos del floema anucleados, que durante el proceso de diferenciación han perdido sus organelos y núcleos, y por lo tanto carecen de estas dos propiedades (Gómez *et al.*, 1980; Taiz y Zeiger, 1998).

Las variaciones fenotípicas y el potencial regenerativo de una especie, dependen en gran medida de su capacidad genética. Por consiguiente el patrón de crecimiento, estructura, forma, y función de cada planta, es el resultado de la regulación y traducción de la información genética codificada en los genes, y de su interacción con el ambiente. Este es el significado de la expresión genética, y representa un proceso primordial en la propagación vegetativa (Hartmann, 1997).

A las porciones que se emplean para propagar vegetativamente una planta a partir de sus tallos o ramas, se les llaman esquejes o estacas. El propósito de la propagación por estacas es la formación de raíces adventicias en un sustrato y ambiente especial (Longman y Wilson, 1993). A este proceso de formación se le ha llamado rizogénesis o simplemente enraizamiento (Baldini, 1992). Las raíces adventicias son aquellas que se desarrollan en puntos localizados de cualquier órgano de la planta, exceptuando las que se originan de la radícula del embrión. Pueden surgir principalmente de primordios preformados que se han desarrollado durante la formación de la rama o el tallo, o de nuevos primordios que son inducidos y se forman durante el enraizamiento (Kramer y Kowalski, 1994). Existen especies que pueden desarrollar de forma natural raíces adventicias, en respuesta a la búsqueda de espacio o a sus necesidades nutrimentales, anatómicas o regenerativas (Otto y Towle, 1991). Sin embargo, la capacidad de enraizamiento en las estacas varía de una especie a otra. Esto se debe a que los rasgos genéticos

y fisiológicos son diferentes en cada especie. Además la rizogénesis depende, entre otras cosas, del buen estado de la planta donante (planta de donde se cortan las estacas), de un buen desarrollo fisiológico de las estacas y del control de las condiciones ambientales del lugar donde se someten para su enraizamiento. De esta manera, lo que puede ser benéfico para una especie, para otra puede ser desfavorable (Baldini, 1992; Hartmann, 1997).

Hay diversos factores dentro de la genética, fisiología y fenología de cada especie que influyen o determinan el proceso de enraizamiento, e intervienen en la alta o baja capacidad del mismo (Leakey, citado por Iglesias, 1996). Uno de estos factores es el desarrollo del callo, que se define como el crecimiento irregular de tejidos parenquimáticos en varios estados de lignificación, siendo la mitosis el principio fundamental que rige su formación (Hartmann, 1997).

Cuando se corta una estaca, los tejidos internos y superficiales se lesionan, quedando expuestas las células del peridermo, cortex, esclerénquima, floema y cambium vascular, que en conjunto forman la corteza, así como los tejidos que componen la madera, xilema secundario y médula, si está presente (Salisbury, 1994). Desde este momento, la estaca presenta una parte apical y otra basal. Esto favorece el desarrollo de la polaridad en la estaca, y el transporte de las auxinas a la parte basal.

Según Hartmann (1997), el proceso de cicatrización y regeneración comienza con la formación de una placa necrótica que sella la lesión con una sustancia llamada suberina que tapa el xilema. Esta placa protege las superficies cortadas de la desecación y de organismos dañinos, una vez que han muerto las células externas lesionadas. Después de cierto tiempo (pueden ser días o semanas según la especie) se puede formar el callo por divisiones de las células que están detrás de la placa necrótica. El callo comúnmente se desarrolla en la base de la estaca en la región del cambium vascular cuando se encuentra bajo condiciones ambientales favorables, representando una forma de cicatrización del área dañada, en este caso el corte basal de la estaca. En algunas especies el desarrollo del callo es un factor importante, sino es que el principal, en la inducción e incluso en la formación de las raíces adventicias. Por ejemplo en algunas especies de difícil enraizamiento, las estacas forman sus raíces a través del callo. Sin embargo no es un prerrequisito para que las estacas enraizen, ya que, algunas veces puede interferir en el enraizamiento (Baldini, 1992; Salisbury, 1994).

Pueden existir varias respuestas en el potencial regenerativo (Sunil y Verma, 1996), en donde las estacas de una especie de algunos tratamientos, solo llegaron a producir callo, y en otras la formación de callo fue seguida por la iniciación de raíces, las cuales se originan en zonas lejanas al callo.

Existen dos vías en la formación de raíces adventicias: la vía directa, que comienza con la formación de los primordios radiculares en las células cercanas al sistema vascular y se lleva a cabo en especies fáciles de enraizar, y la vía indirecta que presenta la formación de callo en un periodo transitorio, antes de que las células se dividan en un patrón organizado para iniciar el primordio de las raíces adventicias. Generalmente esta vía se presenta en especies difíciles de enraizar (Lovell y Geneve, citados por Hartmann, 1997).

En el proceso celular de la rizogénesis participan algunas células del floema secundario, del cambium, o más frecuentemente de los radios parenquimáticos, que se organizan para formar los iniciadores radiculares. Posteriormente, el desarrollo sigue hasta transformarse en los primordios radiculares. Estos se distinguen de los primeros, en que, ya se consideran como una estructura histológica definida totalmente diferenciada, y cuando las condiciones ambientales son favorables, crecen hasta romper la corteza, saliendo a la superficie de la estaca, mientras las células del interior se unen al xilema y floema del sistema conductor (Baldini, 1992). En este sentido las raíces adventicias pueden originarse, aparte de las zonas ya mencionadas, de diferentes tejidos en una estaca, como por ejemplo del tejido vascular o del callo (Hartmann, 1997).

Cuando ha llegado a su término la formación del primordio radicular se puede convertir en raíz adventicia una vez que establece las conexiones vasculares completas con el sistema conductor de la estaca, los tejidos comunes de la raíz, y una cofia (Hartmann, 1997). La cofia es una cubierta viscosa que protege la región meristemática del ápice radicular, en donde las células tienen paredes muy delgadas, núcleos grandes, vacuolas pequeñas y se dividen continuamente. Arriba de esta zona se encuentra un grupo de células que aumentan de tamaño por alargamiento, mientras que en la región más delgada del extremo de la raíz las células están llegando a su tamaño máximo y experimentan un proceso de diferenciación que dará como resultado, los diferentes tipos celulares de la epidermis, la corteza y el tubo conductor (Gómez *et al.*, 1980).

2.2 El papel de las auxinas en la fisiología vegetal y el enraizamiento de estacas

En las plantas el crecimiento y la diferenciación de órganos está regulado por compuestos químicos especiales, llamados fitohormonas o fitorreguladores (Rojas, 1984; Lambers, *et al.*, 1998). Kees y Albert (1995), mencionan que la función de un fitorregulador es intervenir en el metabolismo, actuando a muy bajas concentraciones, con el propósito de activar o inhibir algún mecanismo fisiológico de la planta. De esta manera, los mismos autores, clasifican a la

hormona vegetal como un fitoregulator, el cual tiene un lugar de producción, distinto a su lugar de acción.

Existen fitoreguladores endógenos y exógenos, los primeros se producen de forma natural en la planta, mientras que los exógenos se aplican en las partes externas de la planta y son producidos químicamente por el hombre (Rojas, 1984).

El grupo de hormonas más conocido es el de las auxinas, y dentro de éstas, el ácido indolbutírico (AIB) y el ácido naftalenacético (ANA) han sido las mejores para promover o fomentar el enraizamiento de estacas (Rojas, 1984; Salisbury, 1985; Baldini, 1992). Estas fitohormonas fueron descubiertas en 1935, y el AIB es endógeno, mientras que el AIA es exógeno (Hartmann, 1997).

Las plantas sintetizan la auxina ácido indolacético (AIA) a partir del aminoácido triptofano y las enzimas necesarias para hacer esta conversión, son más activas en los tejidos jóvenes, como los meristemos apicales y hojas en crecimiento (Rojas, 1984; Salisbury, 1994). Estas son las zonas principales donde se han localizado las auxinas. Sin embargo, no ha sido fácil la medición y extracción en vivo de estas sustancias, debido a que se encuentran en concentraciones de 0.01 a 1 μM (Salisbury, *op cit.*). De esta forma las auxinas solamente actúan a muy bajas concentraciones en la fisiología de la planta y en el enraizamiento de estacas (Hartmann, 1997).

Se sabe que las auxinas tienen una participación protagónica en el crecimiento y desarrollo de las plantas, especialmente en los procesos de división, elongación y diferenciación celular (Gretchen, 1995). El transporte de la auxina se desarrolla en forma basipétala, es decir se mueve, preferentemente, desde las zonas apicales a las basales en una planta (Lomax *et al.*, 1995), y se lleva a cabo en células del floema, del parénquima, y en las de este último tejido que rodean los haces vasculares, a una velocidad de 5 y 20 mm/h en los tallos de varias plantas (Salisbury, 1994; Lomax *op cit.*). Según Longman y Wilson (1993) cuando la auxina se aplica en la base de la estaca se concentra en otro tejido de la misma parte basal y puede activar el mecanismo para la formación de raíces adventicias.

En los tejidos de una planta y una estaca se desarrolla una polaridad. Esto significa que las partes apicales poseen diferentes propiedades, en contraste con las partes basales. En una estaca la parte superior o apical forma los brotes foliares, y la parte inferior o basal forma las raíces adventicias. En varios estudios se ha correlacionado la polaridad en la iniciación de las raíces con el movimiento de las auxinas (Hartmann, 1997), de tal suerte que el transporte de la auxina se le llame también, transporte polar. En este sentido, tanto las auxinas endógenas como las exógenas, pueden tener este tipo de transporte (Lomax, *et al.*, 1995).

La auxina, para tener un movimiento basipétalo debe pasar de un tejido superior a otro inferior y llegar al tejido blanco, en donde actúa como fitorregulador en el proceso de enraizamiento (Lomax, *et al.*, 1995).

El sistema hormonal vegetal resulta complejo por presentar diferentes señales entre tejidos y órganos. Así, la auxina desempeña un papel parecido al de una molécula mensajera. En este sentido, se ha propuesto la existencia de por lo menos tres tipos de proteínas receptoras de la auxina: dos membranales y una citoplásmica/nuclear. Por ejemplo, en los tallos de plantas como el tabaco el tejido derivado que ha presentado estos tres tipos de proteínas receptoras ha sido el callo (Kees y Albert, 1995).

El transporte polar de la auxina es explicado por la hipótesis quimiosmótica, propuesta independientemente por Rubery y Sheldrake en 1974, y Raven en 1975 (Lomax, *et al.*, 1995). La hipótesis quimiosmótica propone que el AIA puede entrar a la célula mediante dos vías, por difusión simple o con la ayuda de una proteína acarreadora *simport* transmembranal. En los dos casos la molécula del ácido indolacético, con carga negativa (AIA^-), se encuentra en el espacio que comprende la pared celular y se asocia con un protón (AIA^-+H^+), el cual representa la fuerza que dirige a la auxina para pasar la membrana plasmática hacia el interior de la célula. El AIA es un ácido débil y su grupo carboxilo puede aceptar protones cuando se halla afuera de la célula, en donde se tiene un pH aproximado de 5.5. De esta forma el AIA se disocia del protón en el citoplasma, en donde se tiene un pH de 7, y se va acumulando en la célula debido a la baja permeabilidad de la membrana hacia la forma aniónica. El AIA, en su forma aniónica puede salir de la célula a través de otra proteína acarreadora transmembranal, específica a la auxina, que se ubica en la base de la célula, y esto depende de la concentración del AIA y los gradientes eléctricos para transportar la molécula al exterior de la célula, y en un sentido descendente (Lomax *op cit.*). Una vez que la fitohormona está en la célula del tejido blanco, entra al núcleo por medio de una proteína receptora, y mediante un proceso aún desconocido activa el mecanismo del enraizamiento (Kees y Albert, 1995).

Hasta ahora los mecanismos genéticos y moleculares del enraizamiento, permanecen desconocidos. Sin embargo, los estudios recientes han sentado las bases para poder aproximarse o llegar a dilucidar, en el futuro, el proceso que hace posible la formación de raíces adventicias en una estaca.

2.3 Participación del meristemo apical, yemas, hojas y carbohidratos en el enraizamiento

Todo aquel incremento en el número, tamaño y masa de órganos de una planta, en el tiempo, es considerado como crecimiento vegetal (Mohr y Schopfer, 1995). El crecimiento de las plantas se lleva a cabo en los tejidos con células en constante división mitótica, llamados meristemos (Otto y Towle, 1991).

Como ya se ha mencionado las auxinas son producidas en tejidos como los meristemos apicales y órganos como las hojas jóvenes, para regular el crecimiento y elongación celular. Durante el enraizamiento las estacas pueden formar hojas, tallos y meristemos apicales. Estos últimos juegan un papel importante en la propagación vegetativa, por su capacidad totipotencial y regenerativa en las estacas (Hartmann, 1997). También se ha sugerido que las auxinas pueden producirse en otros tipos de meristemos vegetales (Mohr y Schopfer, 1995).

En diversos estudios se han encontrado altas concentraciones de AIA en las yemas en crecimiento. Así mismo la cantidad de AIA se incrementa en las yemas foliares después del corte de un tallo con ápice (Salisbury, 1994).

Las hojas jóvenes pueden estar contribuyendo en la síntesis auxínica, y el hecho de retener las hojas en las estacas puede ser importante en el enraizamiento, aunque es más considerado, como una consecuencia, que como una causa directa del enraizamiento (Hartmann, 1997).

En las plantas los carbohidratos se encuentran como reserva en los tejidos del tallo como el parénquima o almacenados en las hojas. De esta manera, los carbohidratos pueden ser translocados desde las hojas hacia las zonas donde se desarrollan las raíces (Kees y Albert, 1995). Durante el enraizamiento existe gran demanda de carbohidratos para el desarrollo e inicio de los primordios radiculares. Posiblemente, el aumento en el metabolismo de los carbohidratos, y el almidón en las estacas, es el resultado de los efectos directos o indirectos del transporte basipétalo del AIA (Haissing, 1973). Así, las estacas con mayor grosor contienen más carbohidratos aprovechables (Leakey *et al.*, 1994). Estos autores proponen que el diámetro de una estaca determina la capacidad para almacenar nutrimentos, lo cual puede llegar a favorecer o inhibir el enraizamiento.

2.4 Características de los tipos de individuos o plantas donantes

De acuerdo con la experiencia en la propagación por estacas de muchas especies, se puede decir que existe, de forma general, un gradiente en la capacidad de enraizamiento según la forma de crecimiento. Es decir, las estacas provenientes de plantas herbáceas, arbustivas y arbóreas presentan una mayor, regular y menor predisposición a formar raíces adventicias, respectivamente (Baldini, 1992; Hartmann, 1997).

Antes de cortar las estacas es necesario hacer una selección de las plantas donantes, para identificar los rasgos deseables de los individuos de cada especie que vayan a ser propagados vegetativamente. Durante esta selección existen diferentes factores a considerar, como por ejemplo los factores genéticos, anatómicos o ambientales. Como parte de los factores genéticos se encuentran la forma del tallo, el tipo de ramificación, la estructura leñosa, y la tolerancia a ciertas enfermedades. Estos son algunos rasgos que usualmente son heredables y por lo tanto requieren ser examinados durante la selección de las plantas donantes (Longman y Wilson, 1993).

Otro factor que influye de forma importante en la capacidad de enraizamiento, es la edad de la planta donante. Las estacas de tejidos maduros, generalmente desarrollan un menor número de raíces, que las estacas de tejidos jóvenes. Así, a mayor tamaño y madurez de la porción de una planta, menor es la capacidad para enraizar. Aunque las estacas de tejidos maduros, también se pueden extraer de ramas y tallos con cierto grado de madurez, de individuos no tan jóvenes (Baldini, 1992; Iglesias *et al.*, 1996; Hartmann, 1997; Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

Existe un periodo de transición, llamado fase de cambio, en el cual las plantas donantes experimentan el cambio de una fase juvenil a una madura, en donde se presentan cambios progresivos en la forma de la hoja, el patrón de ramificación y el crecimiento y vigor de los vástagos. Dicho estado fisiológico está orientado a incrementar la actividad vegetativa y puede ser aprovechado para aumentar el potencial de enraizamiento (Baldini, 1992; Hartmann, 1997).

La edad, no solo es importante al momento de cortar las estacas, sino también el sistema de ramificación, por ejemplo las estacas pueden tener un mayor potencial de enraizamiento si provienen de ramas o tallos con una estructura de ramificación intermedia, es decir, ni muy desarrollada y abundante, o muy escasa y rala (Longman y Wilson, 1993). Se recomienda cortar las estacas de la base de la rama y no de la punta o parte media, ya que la parte basal de la rama contiene más reservas alimenticias y por tanto es una zona que puede aumentar la capacidad de enraizado. Para las estacas de tejidos jóvenes son mejores los tallos suculentos y en crecimiento (Iglesias *et al.*, 1996; Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

En este sentido, los árboles viejos tienden a acumular más energía en las estructuras reproductivas, mientras que los árboles jóvenes presentan una mayor orientación de la energía hacia el crecimiento de los tallos y raíces (Milton y Piñero citados por Luken, 1990). Así mismo, la rama o el tallo en posición lateral en la copa del árbol, también influye favorablemente el enraizamiento de las estacas (Leakey *et al.*, 1994; Iglesias *et al.*, 1996).

Finalmente, la planta donante seleccionada debe presentar ramas libres de enfermedades y decoloraciones, un hábito ascendente, con tallos que muestren un crecimiento firme y erecto, sin estar desviados o postrados, ya que la estaca desarrollará estos defectos al formar sus tallos (Longman y Wilson, 1993).

2.5 Tipos de estacas

Existen dos tipos principales de estacas: de tejidos maduros y suave. Las estacas de tejidos maduros se cortan de tallos y ramas que tienen una madera bien desarrollada y son por lo general de gran tamaño. A este tipo de estacas se le cortan las hojas y ramas secundarias que presenten. Esto les permite no secarse rápidamente y sobrevivir en un sustrato húmedo hasta que las raíces se hayan formado (Longman y Wilson, 1993). Estas estacas se usan con mayor frecuencia en la propagación de especies leñosas caducifolias, aunque también en ciertas especies siempreverdes de hoja ancha. Las condiciones ambientales para enraizar estacas de tejidos maduros no requieren mucho cuidado, sin embargo, el tiempo que tardan en formar raíces adventicias puede llevarse desde algunos meses hasta un año, según la especie (Longman y Wilson, *op cit.*, Hartmann, 1997).

La longitud y el diámetro de estas estacas varían con la especie, pero se puede manejar un intervalo aproximado en donde se encuentren la mayoría de las especies estudiadas. Para las estacas de tejidos maduros la longitud es de 10 a 76 cm y de 0.6 a 2.5, hasta 5 cm de diámetro (Hartmann, 1997).

Las estacas de tejidos jóvenes son aquellas que provienen de tallos suaves y con madera en proceso de maduración, es decir carecen de tejidos muy lignificados y por lo general son de menor tamaño que las estacas de tejidos maduros. Las estacas deben tener flexibilidad pero al mismo tiempo estar lo suficientemente maduras para romperse cuando se doblen demasiado. Estas estacas pueden presentar, o no, hojas, y cuando las tienen se denominan estacas foliosas. Para evitar su desecación deben permanecer en un ambiente muy húmedo, hasta que las nuevas raíces puedan tomar el agua que necesita la estaca. Esta humedad no debe ser excesiva, ya que corren el riesgo de pudrirse. Con frecuencia estas estacas se cortan de vástagos y tallos jóvenes. Es recomendable que tengan hojas sanas, sin decoloraciones y tallos rígidos pero turgentes

(Longman y Wilson, 1993). El tamaño de las estacas de tejidos jóvenes debe tener un intervalo de 7 a 12 cm de longitud, y de 0.4 a 1 cm de diámetro, según la especie (Longman y Wilson, *op cit.*, Hartmann, 1997).

2.6 Condiciones ambientales en el enraizamiento

Uno de los factores más importantes en la propagación por estacas es el control de las condiciones ambientales y el acondicionamiento del lugar de propagación, ya que de esto depende, en gran medida, el éxito del enraizamiento (Longman y Wilson, 1993; Iglesias *et al.*, 1996). Así, mediante el uso de un invernadero o de contenedores especiales, se pueden generar las condiciones ambientales adecuadas para el enraizamiento de estacas (Baldini, 1992).

En todo caso, las estacas deben permanecer en un ambiente de alta o regular humedad, baja intensidad luminosa, temperaturas constantes, un sustrato apropiado que permita el intercambio de aire en la base de la estaca, y protección contra el viento y algunos animales patógenos (Longman y Wilson, 1993; Hartmann, 1997).

Según Iglesias *et al.* (1996), la humedad relativa en un invernadero debe ser mayor al 60 % y la temperatura debe fluctuar entre 18 y 28 °C. Si la temperatura es menor de 18 °C, limita el enraizamiento, y si es demasiado alta, la tasa de transpiración y la respiración aumentan excesivamente.

2.6.1 Condiciones para las estacas de tejidos maduros

Las estacas de tejidos maduros, por sus características físicas y anatómicas no requieren de condiciones muy especiales. La tasa de desecación es mucho más baja que las estacas de tejidos jóvenes, por tener tallos lignificados y una corteza, que les permite sobrevivir durante el tiempo de propagación. Sin embargo, las estacas de tejidos maduros también pueden presentar cierto grado de desecación (Longman y Wilson, 1996).

La temperatura del sustrato, citada por Hartmann (1997), para las estacas de madera dura, es de 18 a 21 °C, el cual debe tener poca humedad y buen drenaje. Por otro lado las estacas no requieren una cantidad de luz específica, pero el sombreado del lugar donde se propagan llega a ser ventajoso (Longman y Wilson, 1996).

2.6.2 Condiciones para las estacas de tejidos jóvenes

El ambiente de propagación siempre debe ser húmedo para evitar la excesiva pérdida de agua en las estacas y mantener turgentes las hojas (Hartmann, 1997). Un sistema de nebulización reduce notablemente la intensidad de la transpiración el cual mantiene un ambiente de nube constante con agua aerosolizada. Controla la temperatura externa e interna de las estacas, y al mismo tiempo permite el aprovechamiento de un 30 al 50 % de irradiación solar (Baldini, 1992; Longman y Wilson, 1993).

Hartmann (1997), menciona que la temperatura del sustrato debe ser de 18 a 25° C, así como estar bien aireado y drenado. Las estacas pueden pudrirse bajo los siguientes casos: cuando el sustrato es muy húmedo, carece de aireación, está compactado o ha sido infectado con hongos. La cantidad de luz para las estacas no debe ser excesiva por lo que es necesario el sombreado (Longman y Wilson, 1993).

2.7 La Propagación Vegetativa por estacas en la Restauración Ecológica

Actualmente las zonas naturales se ven perjudicadas por el constante aumento de la población y el desarrollo urbano. Una de las principales actividades humanas que afectan los ecosistemas es la deforestación de bosques y selvas. México presenta una de las tasas de deforestación más grandes a nivel mundial, siendo el principal factor la utilización de la tierra para el uso agrícola y/o ganadero (Leef, 1990, citado por Barradas, 2000). Esta situación afecta directamente la distribución de las especies y biodiversidad, así como indirectamente provoca cambios en las condiciones climáticas locales y regionales (Patiño y Barradas, 1997).

La restauración ecológica es un proceso que intenta formar estadios sucesivos, con el propósito de recuperar la composición de especies, y las interrelaciones de la comunidad original en un tiempo relativamente corto (Martínez, 1996). También, debe comprender un programa de reforestación con especies nativas que logre su establecimiento en forma exitosa (Vázquez-Yanes y Batis, 1996).

La propagación vegetativa a través de estacas puede ser una herramienta útil para la producción de nuevos individuos, y así reforestar con especies nativas (Weber y Stoney, 1986; Leakey *et al.*, 1994; Arriaga *et al.*, 1994; Vázquez-Yanes y Batis, 1996). Sin embargo, en nuestro país no existen suficientes estudios sobre la reforestación con especies nativas. Por el contrario en años recientes se han realizado muchas campañas de reforestación con especies introducidas como el eucalipto, casuarina, álamo, etc., que al no pertenecer a los distintos

climas y ecosistemas del país, no benefician, en mucho a la recuperación de los sitios degradados (Vázquez-Yanes y Batis, 1996).

La propagación vegetativa empleada para la reforestación, proporciona las siguientes ventajas: genera nuevos individuos de una especie con problemas en la producción y viabilidad de sus semillas, preserva los caracteres de la planta donante, puede multiplicar de forma rápida individuos, y se tiene una homogeneidad genética (Arriaga *et al.*, 1994; Iglesias *et al.*, 1996). Por otro lado, la creencia de que la propagación vegetativa a través de estacas reduce la variabilidad genética es una idea engañosa, ya que esto se puede superar a través del manejo de un número mayor de plantas donantes (Longman y Wilson, 1993).

Otro de los factores importantes que deben ser evaluados en la rehabilitación de sitios degradados es el estudio de las plantas y sus condiciones ambientales, el grado de deterioro del suelo y el mejoramiento de las técnicas de trasplante y acondicionamiento de los individuos, ya que la sobrevivencia puede ser muy baja o hasta relativamente alta (Salas, 1990; González-Zertuche, *et al.*, 2000).

En la actualidad los métodos empleados en la reforestación orientados a la restauración ecológica, han procurado estudiar los factores ambientales con especies nativas (Arriaga *et al.*, 1994; Santiago y Vargas, 1999), los rasgos ecofisiológicos de las especies que favorezcan el establecimiento y permanencia de plantas horticolas y agrícolas (González-Zertuche, *et al.*, 2000), así como del mejoramiento del microambiente en sitios con diferente grado de deterioro e incrementar la posible sobrevivencia de los individuos a reforestar (Barradas, 2000).

La propagación vegetativa a través de estacas, con sus propiedades y ventajas para producir nuevos individuos para la reforestación con especies nativas, puede constituir una técnica alterna dentro de la investigación en la restauración ecológica, con posibilidades de solución al problema de la fragmentación de las comunidades naturales (Vázquez-Yanes y Batis, 1996; Vázquez-Yanes *et al.*, 1997; Santiago y Vargas, 1999).

3. HIPOTESIS

Las estacas que se encuentren bajo el efecto de las distintas concentraciones hormonales de AIB y ANA para fomentar el enraizamiento, podrán tener respuesta (aumento) en el número, longitud, área y peso seco de las raíces adventicias.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

- Evaluar la capacidad de enraizamiento de estacas de cuatro especies nativas en la época húmeda y seca del Pedregal de San Angel en la Ciudad de México.

4.2 PARTICULARES

- Evaluar el efecto del ácido indolbutírico (AIB) en el enraizamiento de estacas de tejidos maduros en condiciones controladas de invernadero en la época seca y húmeda.
- Evaluar el efecto del ácido indolbutírico (AIB) en el enraizamiento de estacas de tejidos maduros en un propagador doméstico.
- Estimar el efecto del ácido indolbutírico (AIB) y el ácido naftalenacético (ANA) en el enraizamiento de estacas de tejidos jóvenes en condiciones controladas de invernadero.

3. HIPOTESIS

Las estacas que se encuentren bajo el efecto de las distintas concentraciones hormonales de AIB y ANA para fomentar el enraizamiento, podrán tener respuesta (aumento) en el número, longitud, área y peso seco de las raíces adventicias.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

- Evaluar la capacidad de enraizamiento de estacas de cuatro especies nativas en la época húmeda y seca del Pedregal de San Angel en la Ciudad de México.

4.2 PARTICULARES

- Evaluar el efecto del ácido indolbutírico (AIB) en el enraizamiento de estacas de tejidos maduros en condiciones controladas de invernadero en la época seca y húmeda.
- Evaluar el efecto del ácido indolbutírico (AIB) en el enraizamiento de estacas de tejidos maduros en un propagador doméstico.
- Estimar el efecto del ácido indolbutírico (AIB) y el ácido naftalenacético (ANA) en el enraizamiento de estacas de tejidos jóvenes en condiciones controladas de invernadero.

5. MATERIALES Y METODO

5.1 Sitio de Estudio

El estudio se realizó con especímenes de la zona II de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Angel ubicada en los terrenos de la Universidad Nacional Autónoma de México, en la delegación Coyoacán al sur de la Ciudad de México (Alvarez, *et al.*, 1986). La Reserva se encuentra a una altitud de 2,300 msnm, y se localiza entre los 19° 20' 22" y 19° 13' 25" N y 99° 08' 26" y 99° 14' 3" W. Esta comunidad recibe el nombre de *Senecionetum praecocis* (Rzedowski 1994), en honor a la dominancia del arbusto *Senecio praecox* en este lugar (Rojo, 1994).

La topografía del Pedregal de San Angel está constituida por hoyos, grietas, cuevas, pendientes, planos, etc., como resultado del derrame de lava expulsado por el volcán Xitle y conos adyacentes hace 2,500 años (Schmitter, 1953). Este carácter heterogéneo de la topografía ofrece una gran cantidad de microambientes, que permiten el establecimiento de plantas con requerimientos ambientales muy diversos (Rzedowski, 1994), así como la variación entre sitios, en la acumulación de suelo y las condiciones de luz, incluso en lugares muy cercanos entre sí (Cano y Meave, 1996).

El suelo del Pedregal es de origen eólico y orgánico, y tiene muy poca profundidad, aunque existen zonas en donde puede aumentar considerablemente. Está clasificado como litosol, y es arenoso-limoso moderadamente ácido, con gran cantidad de materia orgánica, potasio y calcio, pero es pobre en nitrógeno y fósforo aprovechables (Rzedowski, 1994).

Según la modificación al sistema de clasificación de Köppen, adaptado a las condiciones climáticas de la República Mexicana, la fórmula que describe el clima del Pedregal de San Angel, es Cb (w₁)(w), que corresponde a templado con régimen de lluvias en verano (García, 1964; citado por Soberón *et al.*, 1991). La precipitación media anual es de 870 mm y su distribución anual es muy irregular, presentándose una época seca, de noviembre a mayo, y una época húmeda, de junio a octubre, con un 11% y 89% del total de la precipitación, respectivamente (Rzedowski, 1994; Degollado, 2000). Sin embargo, esta irregularidad de las lluvias es importante para el buen desarrollo de la vegetación del Pedregal, ya que es favorable para la existencia y alojamiento de un gran número de especies (Rzedowski, 1994).

La temperatura media anual es de 15.1 °C, y las temperaturas máximas promedio son de 29.5 °C en abril y 29.3 °C en mayo, siendo estos los meses más cálidos.

La temperatura mínima promedio es de -0.3, -1.1, y -0.4 °C en los meses de diciembre, enero y febrero, respectivamente (Ramos, 1998). De esta forma la época más cálida se presenta de abril a junio, y la más fría, de diciembre a febrero (Rzedowski, 1994).

El tipo de vegetación del Pedregal de San Angel está considerado como un matorral xerófilo, y según Rzedowski (1991), está conformado por un estrato herbáceo bien desarrollado, un arbustivo medio de menor abundancia y un arbóreo con pocos individuos.

Actualmente la reserva cuenta con 301 especies de angiospermas agrupadas en 61 familias, y aún considerando la intensa perturbación, el saqueo de especies, y la reducción del área por la urbanización, el número de especies originales (226 especies) es mayor de lo esperado, de acuerdo con la relación empírica de la teoría de biogeografía de islas. De esta forma la reserva del Pedregal de San Angel se ha considerado una zona con un alto índice de diversidad biológica (Valiente y Luna, 1990).

5.2 Material vegetal

En este estudio se trabajó con tres especies arbóreas, *Buddleia cordata* H.B.K., *Dodonaea viscosa* Jacq., *Eysenhardtia polystachya* (Ort.) Sarg. y una especie arbustiva, *Senecio praecox* D.C., especies nativas y dominantes del *Senecionetum praecosis*.

Buddleia cordata H.B.K. es un árbol o arbusto de 1 a 20 m de altura. Es dioico, sus tallos son tetragonales y densamente tomentoso-estrellados en las ramas jóvenes. Sus hojas son largamente pecioladas a ovadolanceoladas, y llegan a medir de 8 a 30 cm de largo, son pubescentes en el haz, y lanudo-tomentosas en el envés. El ápice es agudo, acuminado o largamente acuminado (Sanchez, 1976). Esta especie es perennifolia y su época de floración es de julio a diciembre y la fructificación de septiembre a febrero. Su nombre común es "tepozán" y se distribuye en gran parte del Valle de México (Sanchez, *op cit.*, Rzedowski, 1991). Tiene gran capacidad para crecer en lugares erosionados, y por su producción de hojarasca tiene el potencial para la recuperación de zonas degradadas (González y Camacho, 1994).

Dodonaea viscosa Jacq. es un arbusto de 1 a 3 m de alto, perennifolio, de hojas sésiles o cortamente pecioladas, láminas simples, linear-oblancoeladas u oblongo-lanceoladas y miden de 5 a 12 cm de largo y agudas o redondeadas en el ápice (Rzedowski, 1991). Su nombre común es "chapulixtle". Se distribuye en pocas zonas del Valle de México a una altitud de 2,300 a 2,600 msnm. Se encuentra en comunidades secundarias, de bosques perturbados como los encinares, terrenos erosionados y matorrales con climas templados y semicálidos (González

y Camacho, 1994). Se establece fácilmente en barrancas, bordes de arroyos, claros de bosques, así como en terrenos accidentados y lugares deteriorados. Por otro lado puede ser una especie adecuada para la reforestación, debido a sus propiedades hídricas internas y estacionales (Degollado, 2000).

Eysenhardtia polystachya (Ort.) Sarg. es un árbol o arbusto inerme. Mide de 3 a 8 m de altura, su tronco tiene de 10 a 30 cm de diámetro, es de corteza delgada y color café-grisácea y fisurada. Sus hojas tienen de 3 a 10 cm de largo, con peciolo corto, folíolos numerosos, oblongos u ovals, de 3 a 12 cm de largo por 1.5 a 5 mm de ancho. El ápice es redondeado, el margen entero, de base redondeada y glabros. Florece de mayo a septiembre y fructifica en los últimos meses del año. Su nombre común es: "palo dulce", y en el Valle de México se encuentra de 2,250 a 2,700 m de altitud, en zonas de matorral xerófilo y pastizal (Rzedowski, 1991). Se usa para el forraje y leña (Arriaga *et al.*, 1994). Esta especie es caducifolia y puede crecer en suelos degradados, por su resistencia a la sequía. Esto la hace un elemento importante para la recuperación de áreas con altos grados de deterioro (González y Camacho, 1994).

Senecio praecox D.C. es un arbusto o planta arborescente caducifolia, candelabriforme, de 1 a 5 m de alto. Sus tallos son erectos, suculentos, glabros y quebradizos. Su corteza es de color gris claro, hojas en fascículos y aglomeradas en el extremo de los tallos, pecioladas y subpalmatinervas de 2 a 18 cm de largo y de 2 a 14 cm de ancho (Rzedowski, 1991). Su nombre común es "palo loco". Esta especie permanece sin hojas y florece durante la época seca; habita preferentemente en matorrales xerófilos de lugares rocosos y basálticos. Su distribución en el país es amplia y en el Valle de México se encuentra en el Pedregal de San Angel y en la Sierra de Guadalupe (González y Camacho, 1994).

5.3 Selección de los individuos

Los individuos donadores de cada especie se escogieron mediante un recorrido en el mes de febrero de 1999, por los camellones, andadores, jardines y costados de los circuitos y calles de Ciudad Universitaria. Se eligieron zonas poco perturbadas, que mantuvieran rasgos distintivos de la vegetación original del Pedregal, y zonas donde la especie presentara individuos bien cuidados y cultivados, como jardines. Los individuos se escogieron con formas de crecimiento arbustivas, semiarbóreas y arbóreas, que presentaran un aspecto saludable y vigor en cuanto a sus características morfológicas. De esta manera se marcaron diez individuos de cada especie y se numeraron de acuerdo al recorrido realizado.

5.4 Procedimiento General

Se cortaron estacas de tejidos maduros y jóvenes de los individuos previamente escogidos de cada especie. Los días de corte se hicieron por la mañana y se les aplicó pintura selladora Curabien (Agroquímica S.A. de C. V., México, D. F.) en el extremo apical para evitar, en lo posible, su deshidratación. Después se etiquetaron y se colocaron en bolsas de papel humedecidas.

Los tratamientos hormonales se hicieron con AIB purificado de presentación en polvo para hacer diluciones (Sigma Chemical CO., MO, U.S.A.), AIB comercial para aplicar en polvo Radix (Diseño y Control Electroquímico, S.A., México, D.F.), y ANA comercial de aplicación en polvo Rootone (Green Light Co., Texas, U.S.A.).

Para la elaboración de los tratamientos hormonales se disolvió AIB purificado, según el peso en gramos por concentración, en 250 ml de alcohol puro y se aforó a 500 ml con agua destilada. Para aplicar el AIB purificado se colocó verticalmente cada estaca, dentro de un frasco de 2.8 cm de diámetro en su boca, y 10.5 cm de longitud. A cada frasco se le añadieron 4 ml por concentración y 4 ml de agua destilada a las estacas del grupo testigo. Se dejaron 24 horas para que absorbieran las soluciones, y después de cumplido este tiempo se colocaron en el sustrato. En la aplicación de AIB comercial (Radix) la parte basal de las estacas (con corte oblicuo) se puso directamente en contacto con el polvo para que absorbiera la hormona. De esta misma forma se aplicó el ANA comercial (Rootone).

El sustrato donde las estacas enraizarían se elaboró en días anteriores al de corte y previo a su preparación la turba se esterilizó al calor, en un horno de esterilización de sustratos J. M. Ortiz (Aparatos para Bacteriología y Química, México, D.F.) a una temperatura de 90 °C durante tres días, para eliminar probables microorganismos no deseables. El sustrato se puso en bolsas negras de polietileno de 24x24 cm, a $\frac{3}{4}$ partes de capacidad de la bolsa. Una vez que las estacas estuvieron en el sustrato se regaron con agua y se colocaron en anaqueles, en un invernadero con nebulización de agua, en el Instituto de Ecología, de la UNAM. El tiempo de regado fue cada tercer día, al igual que las revisiones y observaciones de las estacas (de acuerdo a lo recomendado en la literatura).

En el invernadero se colocó una malla de sombra del 50 % encima del techo para evitar el sobrecalentamiento en el interior, de esta manera la máxima radiación fotosintéticamente activa fue de $324.5 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, a las 13:00 hrs. en el mes de mayo.

Una vez terminado el tiempo de propagación de las estacas se midieron las siguientes variables morfológicas, para cada especie: número de raíces primarias (NRP), longitud de raíces primarias (LRP), número de raíces secundarias (NRS), longitud de raíces secundarias

(LRS), área radicular (AR), peso seco radicular (PSR), diámetro basal de la estaca (DB), así como el número de yemas (NY), hojas (NH) y meristemos apicales (NMA), formados durante el enraizamiento. El área radicular se midió con un medidor portátil de área foliar LI-3000A (LI-COR, Lincoln, Nebraska, E.U.A.), y el peso seco radicular con una balanza analítica Explorer Ohaus 210 (Ohaus Corporation, Switzerland).

El criterio para considerar las estacas vivas aunque no hayan enraizado fue la presencia de yemas, hojas y meristemos apicales, y una buena turgencia de la estaca en general. Por otro lado, se cuantificaron las estacas que formaron callo para conocer la capacidad regenerativa y de cicatrización de cada especie.

Experimento 1.

Se cortaron estacas de tejidos maduros en la época seca del Pedregal de San Angel del 25 al 30 de abril de 1999. De 10 individuos seleccionados de cada especie se cortaron 12 estacas de cada uno, y se destinaron 20 estacas para cada concentración hormonal y grupo testigo (5 réplicas por concentración de 4 estacas cada una).

El tratamiento hormonal consistió de cuatro concentraciones de 10, 100, 1000 y 10000 ppm de AIB purificado, y una concentración de 1500 ppm de AIB comercial. La propagación de las estacas de este experimento se llevó a cabo en el invernadero del Instituto de Ecología. La temperatura media en el invernadero fue de 24 °C. El sustrato utilizado fue una mezcla de turba-agrolita en proporción 1:1, y en las bolsas con sustrato la temperatura osciló entre 18.5 y 24 ° C. Después de 5 meses las estacas se sacaron de las bolsas con sustrato para realizar las mediciones de las variables morfológicas.

Experimento 2.

En este experimento se cortaron estacas de tejidos maduros en la época húmeda del Pedregal de San Angel del 5 al 8 de agosto de 1999. Con el fin de observar los efectos de la estacionalidad en el enraizamiento de las estacas se realizó el mismo diseño experimental y se emplearon los mismos individuos del experimento 1. La temperatura media en el invernadero fue de 19 °C y de 17 a 21 °C en las bolsas con sustrato.

Experimento 3

En este experimento se escogió un individuo de cada especie, del mismo recorrido de selección de los individuos, que presentara tallos y ramas de buen aspecto y color, con follaje abundante, libre de enfermedades aparentes y con tejidos de crecimiento reciente. Las estacas empleadas fueron de tejidos maduros y se cortaron del 10 al 12 de septiembre de 1999.

Se cortaron 70 estacas por especie y se asignaron 10 por cada concentración hormonal y grupo testigo (5 réplicas por concentración de 2 estacas cada una).

El tratamiento hormonal tuvo cuatro concentraciones de 10, 100, 1000 y 10000 ppm de AIB purificado. A este tratamiento se añadieron dos concentraciones de 1500 y 5000 ppm de AIB comercial. El sustrato empleado fue una mezcla de turba-agrolita en proporción 1:1.

El montaje de este experimento se realizó en un propagador de madera doméstico. Este tiene 1.03 m de alto y 64 cm de ancho, con bastidores de vidrio y salidas de aire en la parte superior. La parte inferior del propagador se utilizó para poner las bolsas negras de polietileno con sustrato. Las bolsas se humedecieron y se colocaron las estacas en hileras con sus respectivas etiquetas. La construcción del propagador se hizo de acuerdo a las recomendaciones de Longman y Wilson (1993) y de Vázquez-Yanes *et al.* (1997).

Durante el experimento el propagador tuvo una temperatura media de 20 °C y una temperatura de 18 a 23 ° C en las bolsas con sustrato. Después de 5 meses se hicieron las mediciones de las variables morfológicas.

Experimento 4

Con el propósito de conocer la participación de las hojas y meristemos en el enraizamiento, el presente experimento se hizo con estacas foliosas de tejidos jóvenes. Estas estacas se cortaron en la época húmeda, cuando las especies presentan hojas nuevas y en crecimiento, así como meristemos activos al mismo tiempo.

Se escogieron cuatro individuos de cada especie de los camellones, jardines y costados de los circuitos y calles de Ciudad Universitaria. El criterio de selección fue utilizar individuos jóvenes que presentaran ramas en crecimiento, así como, meristemos activos para cortar las estacas foliosas de tejidos jóvenes. Las estacas se transportaron en bolsas de papel húmedas.

El día de corte y colocación de las estacas en el sustrato fue el 14 y 15 de octubre de 1999, respectivamente. Se cortaron 140 estacas por especie y se asignaron 20 por cada concentración hormonal (5 réplicas por concentración de 4 estacas cada una).

El tratamiento hormonal consistió de tres concentraciones de 10, 100 y 1000 ppm de AIB purificado. Se adicionaron dos concentraciones de 1500 y 5000 ppm de AIB comercial y una concentración de 20 ppm de ANA comercial.

El sustrato utilizado fue turba-agrolita-vermiculita-tezontle en proporción 1:1:1:2. Cuando las hojas de la estaca eran muy grandes se recortaron a la mitad para evitar una sobreevaporación. La propagación de las estacas se realizó en el invernadero del Instituto de Ecología. La temperatura media del invernadero durante el experimento fue de 20 ° C y en las bolsas con sustrato de 17.5 a 20 °C.

Las revisiones y observaciones para las estacas foliosas, también se realizaron cada tercer día y después de 6 meses se hicieron las mediciones de las variables morfológicas.

5.5 Análisis de resultados

Se realizaron Análisis de Varianza (ANOVA), mediante un programa computacional (Statgraphics Statistical Graphics System, 1991), para probar si existían diferencias significativas entre experimentos, especies y concentraciones hormonales, y en las diferentes variables morfológicas (NRP), (LRP), (NRS), (LRS), (AR), (PSR), (DB), (NY), (NH) y (NMA) evaluadas. Para realizar los análisis de varianza de enraizamiento, sobrevivencia y formación de callo los valores en porcentajes fueron convertidos a arcosenos.

Por otro lado se realizaron análisis de regresión simple para determinar la relación existente entre el diámetro basal de las estacas y las raíces primarias formadas.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Enraizamiento, formación de callo y sobrevivencia de las estacas

La Figura 1a muestra el enraizamiento de estacas de las especies en los diferentes experimentos, sin el efecto de algún tratamiento hormonal. De acuerdo con el análisis de varianza, en el enraizamiento existen diferencias significativas ($F_{3, 519} = 2.716$; $P = 0.0405$) entre los experimentos. Se observa una marcada variabilidad en la presencia-ausencia de enraizamiento del enraizamiento de cada especie en cada experimento. También se encontraron diferencias altamente significativas en el enraizamiento ($F_{3, 519} = 26.342$; $P = 0.00001$) entre las especies. Así, la capacidad de enraizamiento en cada especie es diferente, independientemente de los experimentos.

E. polystachya no presentó formación de raíces adventicias en las estacas de ningún experimento. Aparte de esto, en el experimento 1 (época seca) solo enraizó la especie *B. cordata*, logrando un 5 % de enraizamiento máximo, y en el experimento 2 (época húmeda) solo enraizó *S. praecox*. En el experimento 3, de la época húmeda, enraizaron las estacas de *B. cordata* y *S. praecox*, siendo este periodo de la época húmeda, donde el enraizamiento fue más favorable para *S. praecox* que para *B. cordata*, ya que, en este experimento fue donde obtuvo el 27.14% de enraizamiento máximo. En el experimento 4, también de la época húmeda, enraizaron las estacas de las especies anteriores y de *D. viscosa*. Así, *B. cordata* presentó un incremento en el enraizamiento con respecto al segundo experimento, pero no así con el primero. *D. viscosa* obtuvo 9.29 % de enraizamiento, siendo mayor al de *B. cordata*, pero menor al de *S. praecox*. En esta última especie el enraizamiento obtenido fue menor al de todos los demás experimentos (Figura 1a).

La capacidad de enraizamiento de las especies en los cuatro experimentos tiene una respuesta diferencial. De esta manera, Baldini (1992), Leakey *et al.* (1994) y Hartmann (1997), mencionan que las características genéticas, fisiológicas y las condiciones ambientales en las plantas donantes y las estacas, entre otros, son las causas principales de esta variedad en el enraizamiento de cada especie. Así mismo, Leakey *et al.* (1994) mencionan que, aunque existen muchas especies que pueden propagarse fácilmente, algunas especies llegan a resistirse al enraizamiento.

La Figura 1b muestra la sobrevivencia, y la formación de callo en las estacas de las especies estudiadas en los diferentes experimentos. Se encontraron diferencias significativas en la sobrevivencia ($F_{3, 519} = 4.293$; $P = 0.0053$) entre los experimentos.

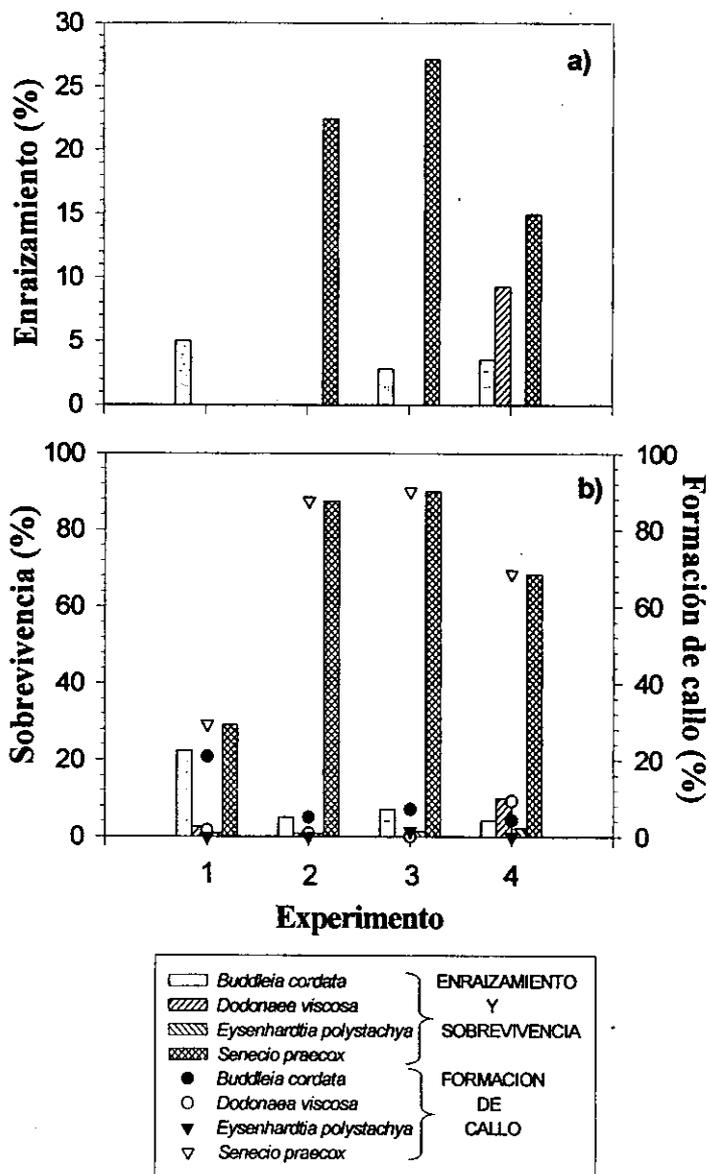


Figura 1. Enraizamiento (a), formación de callo y sobrevivencia (b) (barras y símbolos, respectivamente) de las estacas, de las diferentes especies estudiadas, en los cuatro experimentos.

También se encontraron diferencias altamente significativas en la sobrevivencia ($F_{3, 519} = 197.523$; $P = 0.00001$) entre las especies. Esto significa que la sobrevivencia de cada especie es diferente, independientemente de los experimentos.

En el primer experimento *B. cordata* tuvo una sobrevivencia máxima (22.5 %) y luego fue menor en los demás experimentos. *D. viscosa* tuvo una sobrevivencia mínima, pero en el último experimento obtuvo el mayor porcentaje (10%). Así mismo, *E. polystachya* presentó una sobrevivencia muy baja, aunque en el último experimento logró escasos 2.14 % de sobrevivencia máxima. *S. praecox* presentó la mayor sobrevivencia entre las especies, y en cada experimento, siendo en el tercero donde consiguió el 90 % de sobrevivencia máxima (Figura 1b).

La formación de callo en las estacas presentó diferencias significativas ($F_{3, 519} = 5.453$; $P = 0.0011$) entre los experimentos, y diferencias altamente significativas ($F_{3, 519} = 216.537$; $P = 0.00001$) entre las especies. Se puede observar en la Figura 1b, que los porcentajes de estacas que formaron callo son muy diferentes entre especies, sin embargo, es notable su semejanza con los porcentajes de sobrevivencia de cada especie. A ello se debe que estos resultados se expongan juntos. Por lo tanto, la formación de callo parece estar más relacionada con la sobrevivencia que con el enraizamiento de las estacas, dados los porcentajes tan desiguales al comparar los resultados de la Figura 1a y 1b. Por lo tanto, aunque la formación de callo se considere como una propiedad regenerativa en el proceso de enraizamiento, no parece haber alguna influencia del callo en el enraizamiento de las estacas. Esto coincide con Baldini (1992) y Kantarci y Ayfer (1994), quienes señalan que el callo no es un prerrequisito o garantía en la formación de raíces adventicias.

Así mismo, se sabe que la formación de callo sirve como medio de adsorción de agua, así las estacas pueden continuar sus actividades metabólicas, permitiendo que la sobrevivencia de las estacas se lleve a cabo por un tiempo más prolongado (Prieto, 1992). Esto indica que, la formación de callo en las especies aquí estudiadas, tuvo una importante influencia en la sobrevivencia de las estacas.

Es importante hacer notar que el enraizamiento, la formación de callo y la sobrevivencia, presentaron diferencias significativas más altas entre las especies, que entre los experimentos. Esto demuestra que la propagación por estacas puede ser muy variable entre las especies.

De acuerdo con los resultados, *B. cordata* obtuvo la mayor capacidad de enraizamiento, formación de callo y sobrevivencia en las estacas de tejidos maduros recolectadas en la época seca. Probablemente las condiciones fisiológicas y ambientales de esta época influyeron

favorablemente en la propagación de esta especie. En otros campos de estudio *B. cordata* se ha considerado una especie que tolera medianamente la sequía (Ramos, 1998). En contraste, *D. viscosa* obtuvo la mayor capacidad de enraizamiento, formación de callo y sobrevivencia en las estacas foliosas de tejidos jóvenes de la época húmeda (experimento 4; Figura 1a y 1b). Según Degollado (2000), los tallos leñosos de esta especie tienden a retener poca humedad, lo que hace que tolere la desecación del protoplasma, sin embargo, no puede considerarse una planta que enfrente con éxito la sequía. Esto indica que las estacas foliosas de tejidos jóvenes y las condiciones húmedas de la época fueron determinantes en la propagación de esta especie. Aparte de esto, la incapacidad de enraizamiento en las estacas de tejidos maduros de *D. viscosa*, probablemente se debió a la extrema dureza de sus tejidos lignificados.

En el caso de *E. polystachya* es evidente que la sobrevivencia, y la formación de callo es extremadamente baja, además de que en los cuatro experimentos no hubo enraizamiento de las estacas. Posiblemente esto se debe a la dureza de su madera o alguna condición fisiológica desconocida. Por tanto, en trabajos futuros se requerirá del estudio de las condiciones y necesidades, tanto fisiológicas como ambientales, en la propagación por estacas de esta especie.

S. praecox presentó mayor capacidad de enraizamiento, formación de callo y sobrevivencia en las estacas de tejidos maduros de la época húmeda (experimento 3; Figura 1a y 1b), en cambio la época seca fue desfavorable para estas características, especialmente para el enraizamiento. En comparación con las demás especies, posiblemente *S. praecox* tenga mayor predisposición a formar raíces, por ser una especie herbácea. En este sentido Baldini (1992) y Hartmann (1997) mencionan que las especies herbáceas enraizan con mayor facilidad que las especies arbustivas y arbóreas. Así mismo, *S. praecox* al tener tallos suculentos con gran cantidad de agua almacenada, tal vez influyó de alguna manera en los altos porcentajes de sobrevivencia y enraizamiento de las estacas. Es posible que ésta sea una característica importante en la especie, ya que al mantener siempre sus tejidos provistos de agua se puede facilitar el movimiento de sustancias, como las fitohormonas.

Cabe señalar que se halló otra vía en la formación de raíces adventicias de *S. praecox*. En la parte basal del tallo las cicatrices foliares se hincharon, después crecieron y se rompieron en el centro, de donde brotó un tejido blanco en forma de abultamiento que posteriormente se convirtió en primordio radicular, y este a su vez en una raíz adventicia.

Con base en lo anterior, y de acuerdo con Lovel y Geneve (1986), citados por Hartmann (1997), es posible considerar a *B. cordata* y *D. viscosa*, especies con una vía indirecta en la formación de raíces adventicias, mientras que *S. praecox* presenta una vía directa en el enraizamiento.

6.2 Enraizamiento según el tratamiento hormonal

La Figura 2 muestra cual fue el enraizamiento de las especies ante el tratamiento de hormonas en los experimentos. En la Figura 2a, correspondiente al experimento 1, se muestra el enraizamiento de las estacas ante las diferentes concentraciones de AIB. A través del análisis de varianza, el enraizamiento no presentó diferencias significativas entre las concentraciones hormonales. Pero es posible observar que se incrementó el enraizamiento al aumentar la concentración hormonal. De tal suerte que *B. cordata* presentó un enraizamiento máximo del 15 % en la concentración 1500 ppm de AIB comercial (Radix).

En el experimento 2 el análisis de varianza mostró diferencias significativas en el enraizamiento ($F_{3, 119} = 3.576$; $P = 0.0049$) entre las concentraciones hormonales. Por lo que el tratamiento de AIB tuvo efecto en el enraizamiento, aunque de modo irregular. En este caso el AIB comercial tuvo un efecto mínimo en el enraizamiento. Así, *S. praecox* alcanzó un enraizamiento máximo de 55 % en 100 ppm de AIB (Figura 2b).

En el tercer experimento no se encontraron diferencias significativas en el enraizamiento, entre las diferentes concentraciones de AIB. *B. cordata* solo enraizó en la concentración 1000 ppm de AIB, logrando un 20 %. Y aunque este es el mayor porcentaje de enraizamiento de esta especie en todos los experimentos, no se puede saber si se trata de un valor máximo o mínimo en el experimento 3. En *S. praecox* se observa, que al aumentar la concentración hormonal descendió el enraizamiento, y la concentración 100 ppm de AIB y 1500 ppm de AIB comercial tuvieron el mismo efecto en el enraizamiento. Así, *S. praecox* presentó un enraizamiento máximo del 60 % en 10 ppm de AIB (Figura 2c).

En el experimento 4 el enraizamiento no presentó diferencias significativas entre las concentraciones hormonales, pero si entre las especies ($F_{3, 139} = 5.081$; $P = 0.0023$). Así, el enraizamiento dependió más de las especies, que del tratamiento hormonal. De esta manera, *B. cordata* presentó un enraizamiento máximo del 10 % en 10 ppm de AIB y 20 ppm de ANA, al mismo tiempo. En *D. viscosa* se puede observar un incremento gradual, logrando un máximo del 25 % en la concentración 20 ppm de ANA y a partir de este valor el enraizamiento disminuyó. En el caso de *S. praecox*, al parecer, el enraizamiento en la gráfica se presenta en forma de campana, aunque de forma inconstante. En esta especie la concentración óptima fue de 100 ppm de AIB con un valor máximo del 30 % de enraizamiento (Figura 2d). Es importante notar, que aparte de la concentración 10 ppm de AIB, en 20 ppm de ANA se presentó el enraizamiento de las tres especies antes mencionadas, por lo que en general, la fitohormona comercial más favorable para el enraizamiento en las estacas foliosas de tejidos jóvenes fue Rootone (Figura 2d).

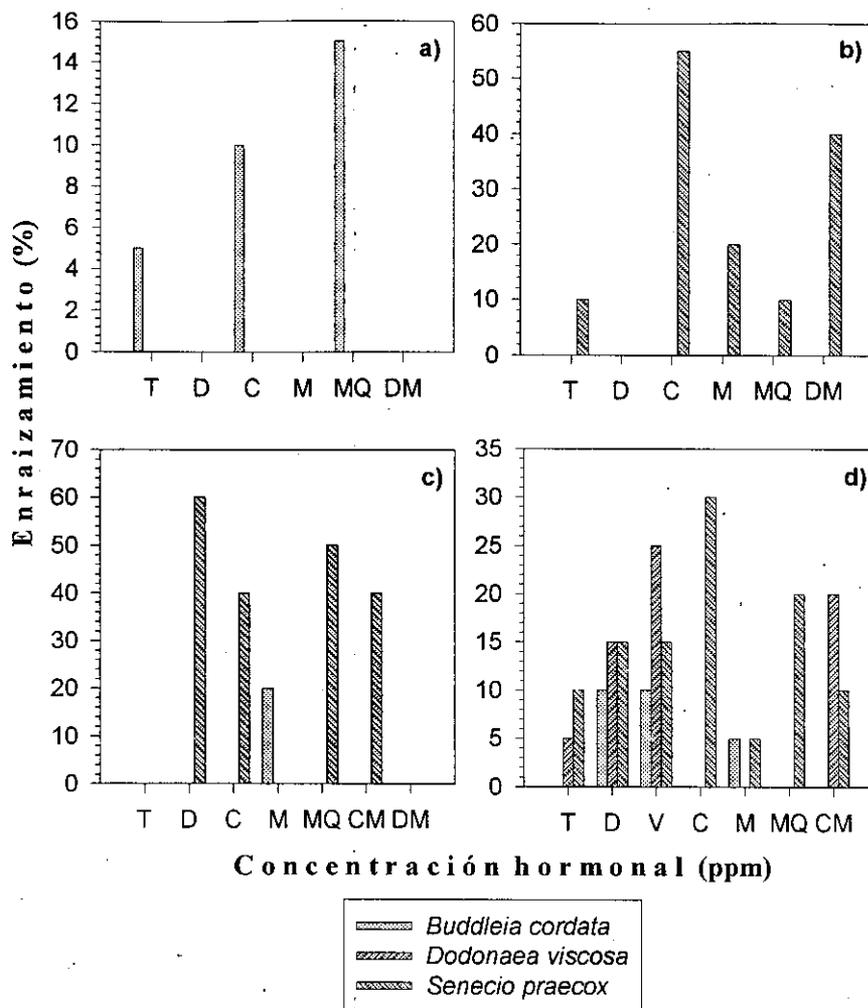


Figura 2. Enraizamiento en los experimentos 1, 2, 3 y 4 en (a), (b), (c) y (d), respectivamente, ante las diferentes concentraciones de AIB (T=Testigo, D=10, C=100, M=1000, MQ=1500 (Radix); CM=5000 (Radix) y DM=10000 ppm) y una de ANA (V=20 ppm).

Como se puede ver en la Figura 2 el enraizamiento en cada especie respondió de forma muy diferente ante las concentraciones hormonales en cada experimento. En este sentido, Santiago y Vargas (1999) señalan que las hormonas exógenas actúan de forma diferente según la especie y la época del año. Así mismo, Lomax *et al.* (1995) menciona que el transporte polar de la auxina no es un proceso constante ya que cambia a lo largo del ciclo de vida y por las diferencias genóticas entre las especies, así como por las respuestas ante los estímulos ambientales.

En la misma Figura 2, se distinguen, en todos los experimentos, concentraciones intermedias que no produjeron ningún efecto en la formación de raíces. Sin embargo, en la mayoría de los casos se puede identificar una tendencia o una concentración hormonal óptima para el enraizamiento.

Así mismo, es importante mencionar que, si bien el grupo testigo presentó una respuesta mínima o inexistente en los experimentos, las concentraciones hormonales, en cambio, generaron mayores porcentajes de enraizamiento. Por lo tanto, la aplicación de fitohormonas, independientemente de la concentración, efectivamente tuvo un efecto que promovió o favoreció el enraizamiento.

Se sabe que las fitohormonas a bajas concentraciones pueden fomentar el enraizamiento de las estacas (Gretchen, 1995; Hartmann, 1997). Bajo este punto de vista, en cada experimento el enraizamiento se logró desde la concentración 10 o 100 ppm de AIB, sin considerar el testigo, y en todos los experimentos, excepto en el primero, estas concentraciones presentaron el mayor efecto en el enraizamiento. Sin embargo, solo en el segundo experimento la concentración hormonal causó efectos significativos en el enraizamiento.

De acuerdo con los resultados, el enraizamiento de *B. cordata*, según los tratamientos hormonales, fue muy distinto en cada experimento y entre los experimentos. Así, las estacas de tejidos maduros requirieron altas concentraciones hormonales, para un mayor enraizamiento (Figura 2a), mientras que las estacas foliosas de tejidos jóvenes requirieron concentraciones menores, tanto de AIB como de ANA (Figura 2d). Por tanto, el enraizamiento en *B. cordata*, presentó diferencias en los requerimientos hormonales en cuanto a la época y el tipo de estaca.

En el caso de *D. viscosa*, las estacas foliosas de tejidos jóvenes, tuvieron un efecto más favorable en la asimilación de las fitohormonas exógenas y el enraizamiento, que las estacas de tejidos maduros, a las cuales se les atribuye su incapacidad de enraizar por la extrema dureza de sus tejidos lignificados. Como ya se vio anteriormente, el enraizamiento de esta especie depende de la época de corte de las estacas, así como del tipo de estaca. Respecto al tipo de estaca, Baldini (1992) menciona que generalmente la presencia de un anillo de esclerénquima continuo, entre el floema y la corteza, al exterior de la zona donde se originan los primordios

radiculares, está relacionado con el grado de madurez del tallo, representando tal vez, un obstáculo físico en la emergencia de las raíces adventicias.

La especie *S. praecox* presentó la mayor respuesta ante los tratamientos hormonales, y se observa que el enraizamiento máximo, o se encuentra en la concentración de 100 ppm de AIB (experimentos 2 y 4), o en 10 ppm de AIB (experimento 3). Esto puede significar, que esta especie enraíza preferentemente en 100 ppm de AIB o en concentraciones menores. Posiblemente en *S. praecox* la época húmeda, las estacas de tejidos maduros y jóvenes, y las concentraciones bajas de fitohormonas, favorecieron el enraizamiento de las estacas.

Por otro lado, la aplicación de auxinas puede tener una función promotora, ineficaz o aún inhibitoria del enraizamiento en las estacas (Hartmann, 1997). Así mismo, los efectos del AIB al fomentar el desarrollo de raíces adventicias es muy contrastante en las diferentes especies de árboles (Mesén *et al.*, 1997).

6.3 Efecto del tratamiento hormonal en las variables morfológicas

6.3.1 Número de raíces primarias

En la Figura 3 se presenta el número de raíces primarias (NRP) formadas en las estacas enraizadas en los cuatro experimentos. Así, en el experimento 1 el NRP de *B. cordata* fue mucho mayor en la concentración 100 ppm de AIB (0.85 raíces), que en 1500 ppm de AIB comercial (0.20 raíces). Sin embargo, en el análisis de varianza, NRP no mostró diferencias significativas entre las concentraciones de AIB. Cabe señalar que el resultado del grupo testigo no está representado porque solo enraizó una estaca y por lo tanto no se pudo calcular el promedio (Figura 3a). Esto también se presenta en los resultados de las demás variables morfológicas.

Por otro lado, en el NRP del experimento 2, se encontraron diferencias altamente significativas ($F_{5, 119} = 5.342$; $P = 0.0002$) entre las concentraciones hormonales, por lo tanto NRP es muy variable ante el tratamiento de AIB. Así, en este experimento se obtuvo un máximo de 4.8 raíces primarias en la concentración de 10000 ppm de AIB. Este resultado, es también el máximo valor obtenido en todos los experimentos (Figura 3b).

En el experimento 3, NRP presentó diferencias significativas ($F_{6, 139} = 2.887$; $P = 0.0114$) entre las concentraciones hormonales. *B. cordata* obtuvo en promedio 0.4 raíces primarias en la concentración 1000 ppm de AIB, mientras que *S. praecox* presentó una clara disminución de NRP al aumentar la concentración hormonal. De esta forma, en 10 ppm de AIB tuvo un promedio máximo de 3.4 raíces primarias (Figura 3c).

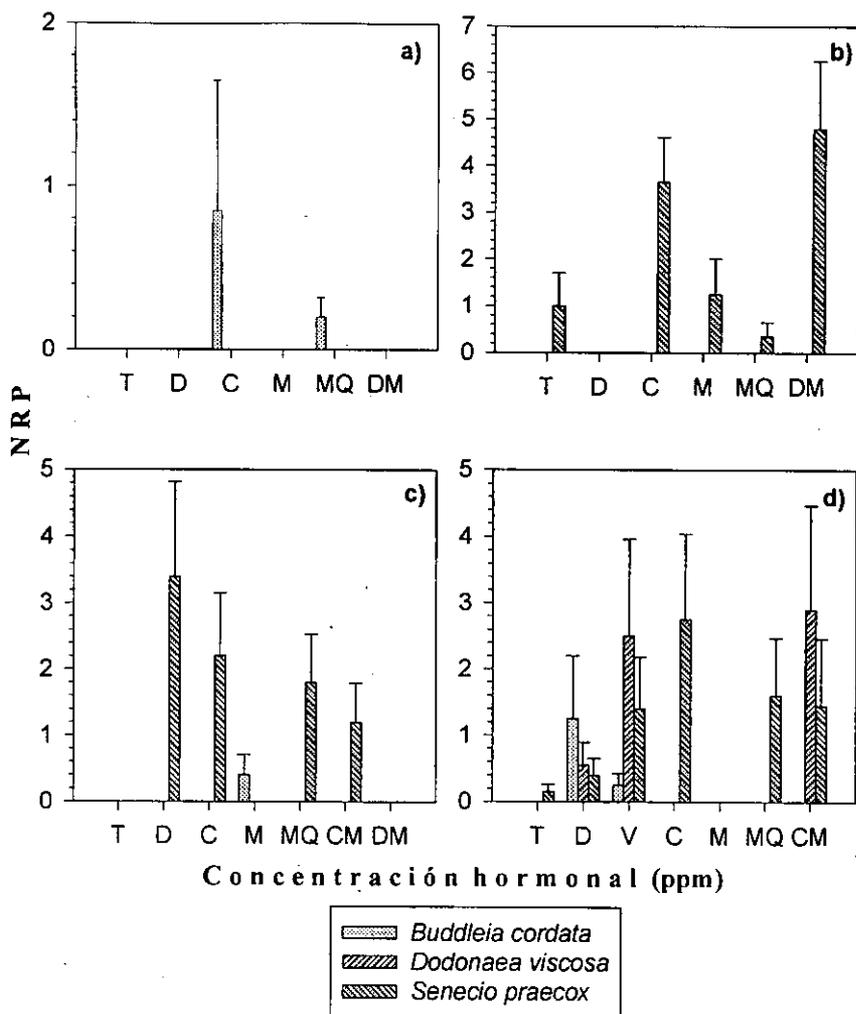


Figura 3. Número de raíces primarias (NRP) en las diferentes concentraciones de AIB (T=Testigo, D=10, C=100, M=1000, MQ=1500 (Radix), CM=5000 (Radix) y DM=10000 ppm) y una de ANA (V=20 ppm) de los experimentos 1, 2, 3 y 4, en (a), (b), (c) y (d), respectivamente. Cada columna representa el promedio y las barras el error estándar.

Por último en el experimento 4, NRP no presentó diferencias significativas en función de las concentraciones hormonales, pero sí de las especies ($F_{2, 419} = 3.604$; $P = 0.0281$). Así, *B. cordata* tuvo un promedio máximo de 1.25 raíces primarias en la concentración 10 ppm de AIB. El NRP en la concentración 1000 ppm de AIB no está representado en la Figura 3d por que solo enraizó una estaca, ocurriendo lo mismo en las demás variables morfológicas.

D. viscosa presentó, aparentemente, un aumento de NRP al incrementar la concentración hormonal, sin embargo, solo en 10 ppm de AIB el valor de 0.55 raíces primarias, representa una disminución significativa con respecto de los demás valores. Por último, *S. praecox* presentó un incremento gradual de NRP, con un valor máximo de 2.75 raíces en 100 ppm de AIB, y fue menor en las concentraciones superiores (Figura 3d). Así mismo, el valor en la concentración 1000 ppm de AIB de *S. praecox* no se presenta en la Figura 3d, por que solo enraizó una estaca.

Por otro lado Sunil y Verma (1996) y Santiago y Vargas (1999), coinciden en que el número de raíces adventicias aumenta considerablemente en las estacas cuando son sometidas a bajas concentraciones hormonales. Estas representan las concentraciones óptimas para una mayor formación de raíces en una especie. Por lo anterior, en *B. cordata*, efectivamente presentó un mayor NRP aplicando menores concentraciones de hormonas y el tipo de estaca más favorable en el NRP de esta especie, fue la estaca foliosa de tejidos jóvenes.

En *D. viscosa* puede advertirse la posible tendencia de desarrollar más raíces primarias hacia las mayores concentraciones hormonales, sin presentar un NRP máximo que destaque en forma significativa. Mientras que en *S. praecox*, no se observa que NRP se haya desarrollado, preferentemente, en una menor o mayor concentración hormonal en los experimentos.

En varios estudios de propagación por estacas, el número de raíces adventicias representa una variable importante para conocer el potencial que tiene la especie y su capacidad regenerativa. Como ya se vio anteriormente, las fitohormonas pueden fomentar el enraizamiento de las estacas. Sin embargo, 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 (Leakey *et al.*, 1994), aún sin un tratamiento hormonal. Por lo tanto, el sistema radical resulta complejo en su morfología y estructura, además de los patrones de ramificación (Salisbury, 1994). No obstante, en los resultados se observa que, efectivamente, la formación de raíces adventicias fue menor en función de las diferentes concentraciones hormonales. Así, lo demuestran Kantarci y Ayfer (1994), Díaz *et al.* (1995) y Mesén *et al.* (1997).

El NRP puede brindar información de la estructura de anclaje de la estaca, y en que medida tiene posibilidad de asimilar los nutrientes del sustrato. Por lo tanto, es de esperarse

que a mayor cantidad de raíces primarias, la estaca obtendrá mayor anclaje en el sustrato y oportunidades de multiplicar la asimilación de nutrientes. Es importante mencionar que estas funciones no son exclusivas de las raíces primarias, ya que las comparte con las raíces secundarias y pelos radicales.

6.3.2 Longitud de raíces primarias

En la Figura 4 se observa la longitud de raíces primarias (LRP) en las diferentes especies, ante los tratamientos hormonales de cada experimento. El análisis de varianza del experimento 1, no mostró diferencias significativas en LRP, entre las concentraciones hormonales. Así, en la Figura 4a se observa que ninguna de las concentraciones de AIB, donde hubo respuesta, cambió significativamente LRP, y aunque la diferencia entre las barras de error estándar sea casi imperceptible, al parecer, las raíces de mayor longitud (0.29 cm) se formaron en la concentración 100 ppm de AIB.

LRP, fue diferente significativamente ($F_{5, 119} = 3.548$; $P = 0.0051$) en función de las concentraciones hormonales del experimento 2. De esta forma, LRP en 100 ppm de AIB, con 2.96 cm, fue significativamente mayor que todos los valores, menos el de 10000 ppm de AIB. Así, en la Figura 4b se observa que LRP es muy variable ante el tratamiento hormonal.

Por otro lado en el experimento 3, no se encontraron diferencias significativas en LRP, entre las concentraciones de AIB. Así, *B. cordata* obtuvo un LRP de 0.59 cm en 1000 ppm de AIB, mientras que en *S. praecox*, sin ninguna tendencia hacia el aumento o disminución, presentó un LRP máximo de 6.49 cm en 5000 ppm de AIB comercial (Figura 4c).

En el cuarto experimento 4, no hubo diferencias significativas de LRP en las diferentes concentraciones hormonales. *B. cordata* presentó un promedio máximo de 1.28 cm de LRP en la concentración 10 ppm de AIB. Mientras que *D. viscosa* mostró un aumento gradual de LRP al incrementar la concentración hormonal, obteniendo un promedio máximo de 2.51 cm en 5000 ppm de AIB comercial. Por su parte *S. praecox*, incrementó gradualmente LRP, hasta 20 ppm de ANA, y después la respuesta fue disminuyendo al aumentar la concentración hormonal. De esta manera, se observa que no hay cambios significativos entre las diferentes respuestas de LRP en esta especie (Figura 4d).

Se puede decir que la mayor LRP en *B. cordata* tendió a desarrollarse en las bajas concentraciones hormonales, mientras que en *D. viscosa* las altas concentraciones hormonales tuvieron mayor efecto en la LRP, y *S. praecox* mostró una gran variación, de acuerdo con los diferentes tratamientos hormonales de los experimentos.

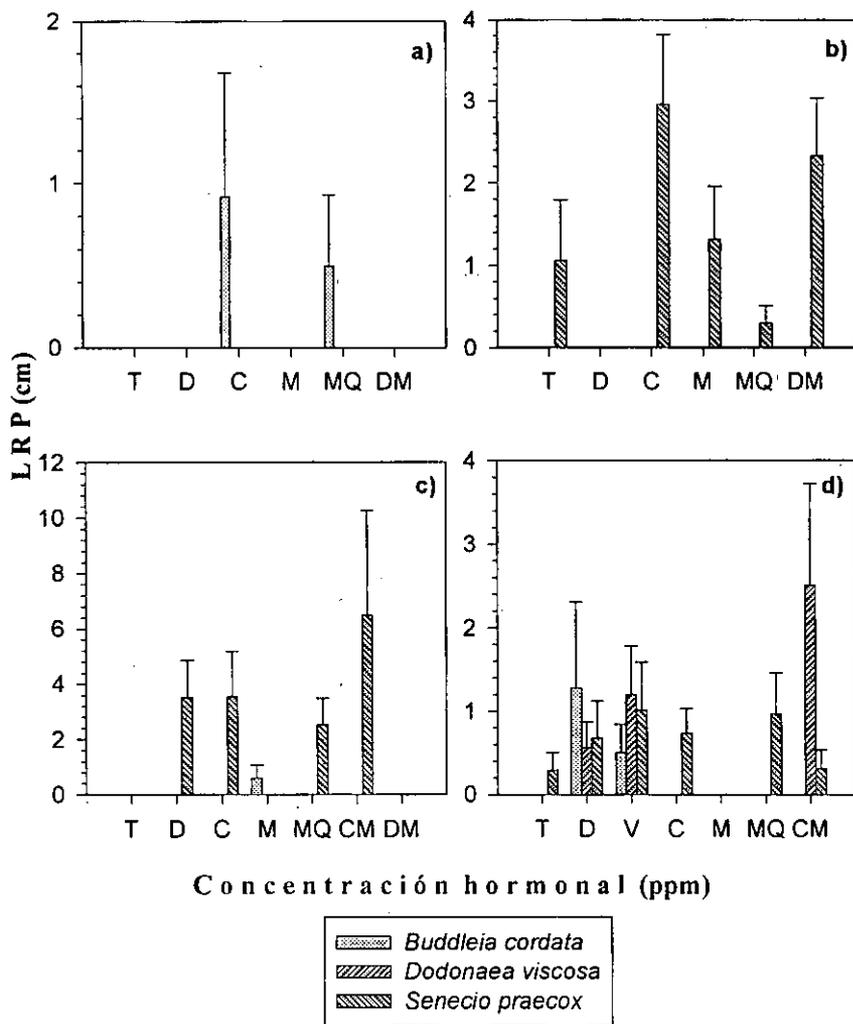


Figura 4. Longitud de raíces primarias (LRP) en las diferentes concentraciones de AIB (T=Testigo, D=10, C=100, M=1000, MQ=1500 (Radix), CM=5000 (Radix) y DM=10000 ppm) y una de ANA (V=20 ppm) de los experimentos 1, 2, 3 y 4, en (a), (b), (c) y (d), respectivamente. Cada columna representa el promedio y las barras el error estándar.

En los estudios realizados por Díaz *et al.* (1995) y Sunil y Verma (1999), la longitud de raíces adventicias en las estacas se vio favorecida por las bajas concentraciones hormonales. Así, en los resultados, *B. cordata* aumentó LRP en las concentraciones bajas de AIB (experimento 1 y 4). Mientras que en *D. viscosa* las altas concentraciones hormonales hicieron que LRP aumentara, y en *S. praecox* LRP es muy variable en función del tratamiento hormonal de cada experimento. Ahora bien, exceptuando el tratamiento hormonal, *S. praecox*, *D. viscosa* y *B. cordata* obtuvieron una mayor, media y menor LRP, en los experimentos, respectivamente.

Con base en lo anterior, y los resultados de la Figura 3, es posible deducir que en *B. cordata* las bajas concentraciones hormonales promueven el aumento de NRP y LRP en los diferentes experimentos. Sin embargo, en *D. viscosa* las altas concentraciones hormonales tuvieron mayor efecto en ambas variables, y por último, *S. praecox* no presentó tendencias específicas al respecto. Aunque estas variables morfológicas son diferentes, demuestran en conjunto, la capacidad de crecimiento de las raíces adventicias en las estacas de cada especie.

De esta forma, la medición de la longitud de las raíces adventicias es considerada por varios autores, una variable que permite conocer el potencial de enraizamiento de las especies.

6.3.3 Número de raíces secundarias

En la Figura 5 se observa el número de raíces secundarias (NRS) en los tratamientos hormonales de los experimentos. Así, NRS no presentó diferencias significativas en las diferentes concentraciones de AIB, en el experimento 1. Sin embargo, la tendencia aparente fue disminuir las raíces secundarias al incrementarse las concentraciones de AIB, siendo en la concentración de 100 ppm donde se presentó el mayor NRS (Figura 5a).

En el segundo experimento, NRS fue diferente significativamente ($F_{5, 119} = 4.003$; $P = 0.0022$) entre las diferentes concentraciones de AIB. No obstante, en este experimento se puede ver que NRS no presentó una tendencia, según las concentraciones de AIB (Figura 5b).

En el Experimento 3, no hubo diferencias significativas en NRS entre las diferentes concentraciones de AIB. *B. cordata* presentó un promedio de 2.9 raíces secundarias en la concentración 1000 ppm de AIB y en *S. praecox* NRS no se observan cambios significativos por el efecto de las diferentes concentraciones de AIB (Figura 5c).

El NRS, en el experimento 4, no presentó diferencias significativas, debidas a las concentraciones hormonales. *B. cordata* obtuvo un promedio máximo de 7.25 raíces secundarias en la concentración 10 ppm de AIB. Mientras que en *D. viscosa*, aparentemente, la

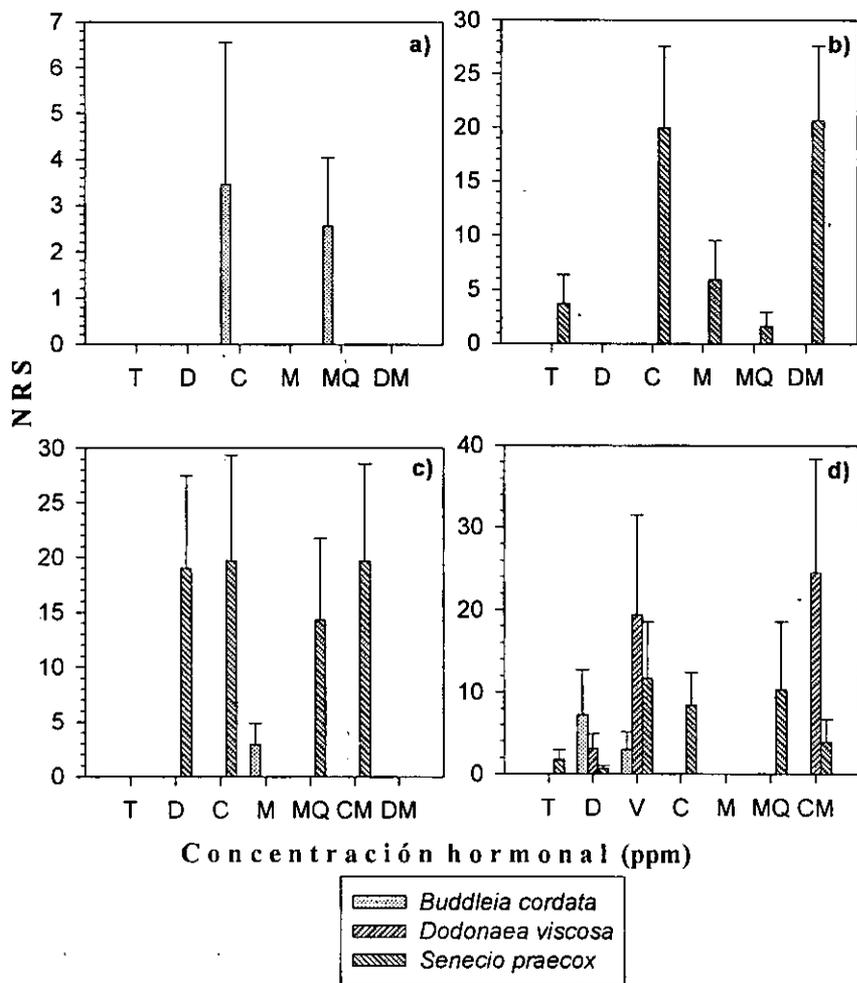


Figura 5. Número de raíces secundarias (NRS) en las diferentes concentraciones de AIB (T=Testigo, D=10, C=100, M=1000, MQ=1500 (Radix), CM=5000 (Radix) y DM=10000 ppm) y una de ANA (V=20 ppm) de los experimentos 1, 2, 3 y 4, en (a), (b), (c) y (d), respectivamente. Cada columna representa el promedio y las barras el error estándar.

tendencia fue de aumentar NRS al elevar la concentración hormonal, sin embargo, se puede ver un promedio mínimo significativo de 3.1 raíces secundarias en 10 ppm de AIB.

En *S. praecox* se observa que el grupo testigo, la concentración 10 ppm de AIB y 5000 ppm de AIB comercial, con 1.75, 0.6 y 3.9 raíces secundarias, respectivamente, fueron significativos con respecto a los demás valores. Por otro lado, la concentración 20 ppm de ANA fue la más favorable en el NRS de las especies en conjunto (Figura 5d).

Por lo anterior se puede observar que en la Figura 5, *B. cordata*, al parecer, mostró la tendencia de desarrollar NRS, preferentemente, en las bajas concentraciones hormonales, logrando el máximo de raíces secundarias en la concentración 10 ppm de AIB en el experimento 4. En *D. viscosa*, el mayor NRS, aparentemente, se ubicó hacia las altas concentraciones hormonales, y en *S. praecox* no existió alguna tendencia o concentración hormonal óptima.

Según Lambers *et al.* (1998), la frecuencia y distribución de las raíces laterales (secundarias) puede controlar, en parte, la forma de todo el complejo radicular y así, la exploración de las zonas del suelo. Además de esto las raíces secundarias llegan a ser más numerosas y de mayor longitud que las raíces primarias (Salisbury, 1994). Esto se puede observar al comparar las Figuras 3 y 5.

Es importante considerar que los trabajos de propagación, no se enfocan específicamente, al estudio de las raíces secundarias en las estacas. Sin embargo, la importancia de la variable NRS radica en que son las raíces donde se forman y encuentran la mayor cantidad de pelos radicales (prolongación de células epidérmicas que absorben agua y nutrimentos) además de formar una mayor ramificación que las raíces primarias. Así, al formar más raíces secundarias, la especie tiene mayor capacidad de asimilar nutrimentos y agua, lo cual dice mucho de la prioridad en el desarrollo y formación de las raíces adventicias y sus raíces secundarias en cada especie. También las raíces secundarias pueden aumentar el anclaje y sujeción del sistema radicular en las estacas.

De acuerdo con los resultados en las variables anteriores, es muy posible que las fitohormonas exógenas hayan tenido el mayor efecto en la emergencia de las raíces primarias. No obstante, en la medición de NRS tal vez existió un efecto continuado de las fitohormonas exógenas, causado desde la formación de las raíces primarias.

6.3.4 Longitud de raíces secundarias

La Figura 6 presenta la longitud de raíces secundarias (LRS) obtenidas en las estacas, en las diferentes concentraciones de hormonas de los experimentos.

La variable LRS, en el experimento 1 no presentó diferencias significativas entre las concentraciones de AIB. No obstante, la tendencia aparente es de aumentar la LRS al incrementar la concentración de AIB (Figura 6a).

Por otro lado, en el experimento 2 se encontraron diferencias significativas ($F_{3, 119} = 4.114$; $P = 0.0018$) entre las concentraciones hormonales. De esta manera, se observa que LRS fue muy irregular ante el tratamiento hormonal. El promedio más alto fue de 1.52 cm en la concentración 100 ppm de AIB (Figura 6b).

En el experimento 3, LRS tampoco mostró diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de AIB. *B. cordata* obtuvo un promedio de 1.15 cm de LRS en 1000 ppm de AIB. *S. praecox* mostró, aparentemente, la tendencia de disminuir LRS al aumentar la concentración hormonal. Así, la longitud óptima de raíces está en el intervalo, 3.17-2.5 cm, valores correspondientes a las concentraciones de 10 y 100 ppm de AIB, respectivamente. Es claro que LRS se desarrolló en concentraciones de AIB menores (Figura 6c).

Por último en el experimento 4, LRS no presentó diferencias significativas entre las concentraciones hormonales. *B. cordata* tuvo un promedio máximo de 1.68 cm de LRS en 10 ppm de AIB. *D. viscosa* exhibe un aumento aparente en la longitud de raíces al elevar la concentración, sin embargo, solo en 10 ppm de AIB, con 0.53 cm, figura como un valor significativo con respecto de los demás. En *S. praecox*, tal parece que mostró un incremento gradual, hasta 100 ppm de AIB, donde obtuvo un máximo de 2.94 cm, y a partir de este valor LRS fue declinando (Figura 6d). Cabe mencionar, que 20 ppm de ANA fue favorable para la LRS de las tres especies en conjunto, pero esta influencia no fue tan marcada como en NRS.

Al parecer, en *B. cordata* LRS, en los cuatro experimentos no hay una tendencia de desarrollo hacia concentraciones hormonales mayores o menores. En *D. viscosa* LRS tiende a aumentar al elevarse la concentración hormonal, y en *S. praecox* la tendencia aparente de un mayor LRS se ubica en concentraciones hormonales medias o bajas.

En la mayoría de las especies las raíces secundarias son más largas que la raíz primaria (Salisbury, 1994; Taiz y Zeiger, 1998). Así, entre más largas sean las raíces secundarias, mayores posibilidades habrá de aprovechar los nutrimentos en el sustrato.

La medición de la longitud de las raíces, parece reflejar un mejor índice del enraizamiento de las estacas, sobre todo bajo condiciones húmedas durante la propagación (Diaz *et al.*, 1995). Por lo anterior, y de acuerdo a los resultados de las Figuras 5 y 6, *B. cordata*

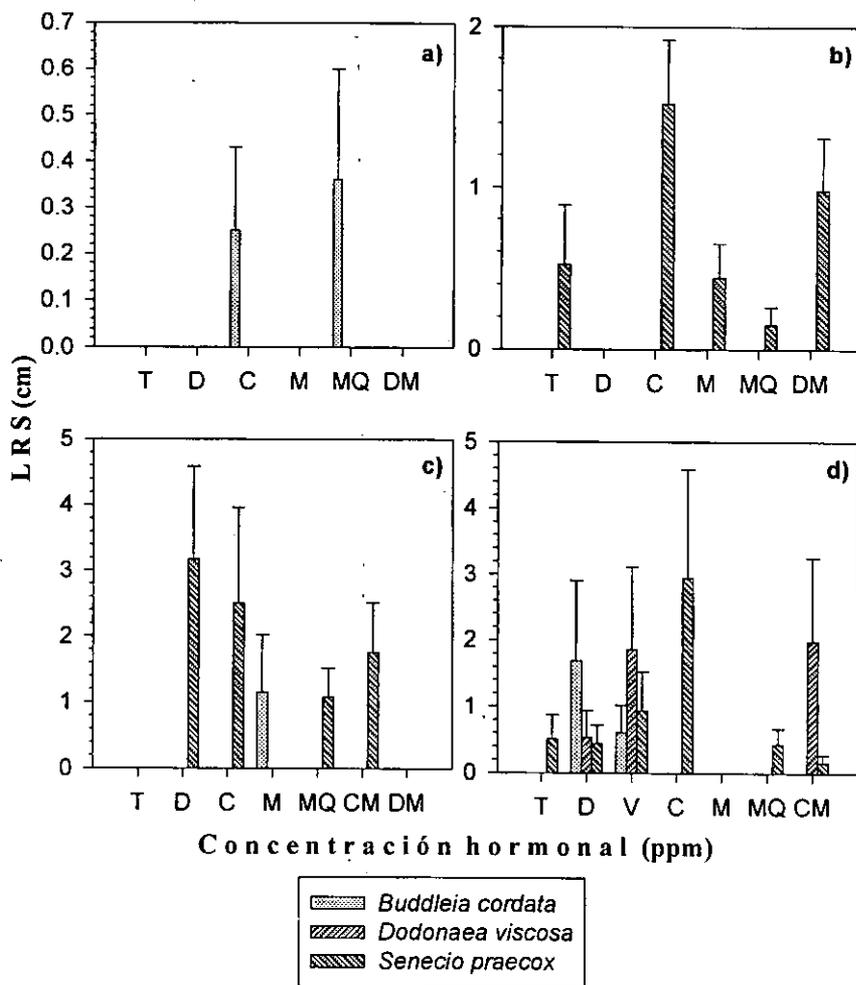


Figura 6. Longitud de raíces secundarias (LRS) en las diferentes concentraciones de AIB (T=Testigo, D=10, C=100, M=1000, MQ=1500 (Radix), CM=5000 (Radix) y DM=10000 ppm) y una de ANA (V=20 ppm) de los experimentos 1, 2, 3 y 4, en (a), (b), (c) y (d), respectivamente. Cada columna representa el promedio y las barras el error estándar.

tuvo un NRS y LRS óptimos en el experimento 4. En *D. viscosa* se puede decir que las concentraciones hormonales altas tuvieron mayor efecto en NRS y LRS, y en el caso de *S. praecox* los resultados más favorables para estas variables fueron en el experimento 3. Esto indica que en *B. cordata* y *D. viscosa* las condiciones húmedas y las estacas foliosas de tejidos jóvenes fueron más propicias para estas variables morfológicas, mientras que para *S. praecox* también en la época húmeda pero con estacas de tejidos maduros, fue más favorable el desarrollo de dichas variables.

6.3.5 Área radicular

La Figura 7 presenta el área radicular (AR) de las especies en los diferentes tratamientos hormonales de los Experimentos. En el experimento 1 el análisis de varianza no mostró diferencias significativas en el AR entre las concentraciones hormonales. Aún así, se obtuvo un promedio máximo de 1.11 cm² de AR en la concentración 100 ppm de AIB (Figura 7a).

Por otro lado en el experimento 2 se encontraron diferencias significativas ($F_{5, 119} = 3.159$; $P = 0.0104$) entre las concentraciones hormonales. De esta forma, se observa que el área radicular respondió de manera irregular ante las diferentes concentraciones de AIB, sobretodo entre las dos últimas. Debido a esta gran variabilidad, no existe una concentración óptima o tendencia alguna en el AR (Figura 7b).

En el Experimento 3 se obtuvieron diferencias significativas ($F_{6, 139} = 2.257$; $P = 0.0421$) en AR, entre las concentraciones hormonales. La especie *B. cordata* presentó un AR de 1.16 cm² en la concentración 1000 ppm de AIB. En *S. praecox* no se observa una tendencia o preferencia del AR, hacia concentraciones menores o mayores, sin embargo, obtuvo un promedio de 5.46 cm² de AR en 1500 ppm de AIB (Radix), siendo este el único valor que mostró una diferencia significativa menor al compararlo con los demás valores del área radicular (Figura 7c).

El AR no tuvo diferencias significativas entre las concentraciones hormonales del experimento 4. La especie *B. cordata* alcanzó un promedio máximo de 2.35 cm² de AR en 10 ppm de AIB. *D. viscosa* presentó, aparentemente, la tendencia de aumentar el área radicular al elevar la concentración hormonal, sin embargo, solo la concentración 10 ppm de AIB, con un valor de 0.81 cm², fue significativamente menor con respecto a los demás valores.

Por su parte, *S. praecox* mostró la tendencia de incrementar gradualmente AR al aumentar la concentración hormonal hasta la concentración 1500 ppm de AIB comercial, y después desciende en 5000 ppm de AIB comercial. El grupo testigo, con 0.19 cm² y la concentración 10 ppm de AIB, con 0.34 cm² de AR, son valores significativos con respecto a

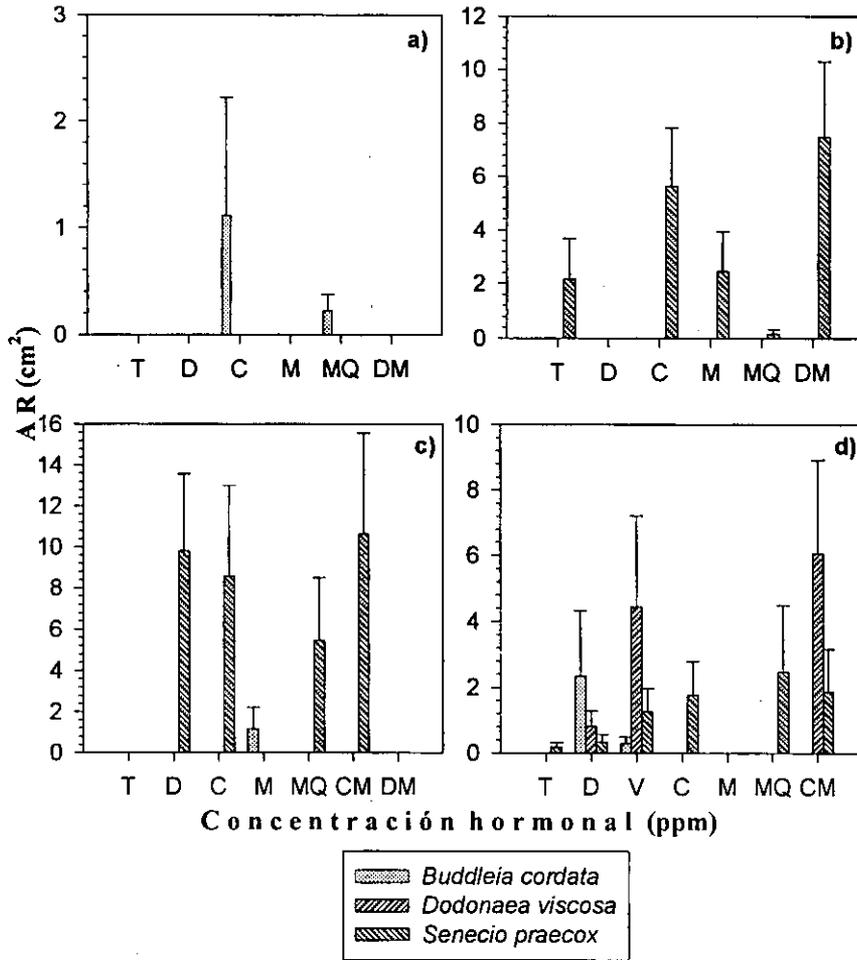


Figura 7. Área radicular (AR) en las diferentes concentraciones de AIB (T=Testigo, D=10, C=100, M=1000, MQ=1500 (Radix), CM=5000 (Radix) y DM=10000 ppm) y una de ANA (V=20 ppm) de los experimentos 1, 2, 3 y 4, en (a), (b), (c) y (d), respectivamente. Cada columna representa el promedio y las barras el error estándar.

los demás valores. En el caso de la concentración 20 ppm de ANA no se observa un mayor efecto en el AR como en las demás variables, sin embargo, esta concentración fue más favorable para *D. viscosa* (Figura 7d).

Como ya se mencionó anteriormente LRS puede aumentar la superficie del sistema radicular, por lo que esta variable se relaciona con el AR de las estacas. De esta manera, las raíces secundarias al tener mayor aumento por unidad de longitud amplifican el AR. Esto se ve favorecido por los pelos radicales, ya que por su número y volumen, son más frecuentes en una raíz secundaria que en una primaria, lo cual aumenta la superficie por unidad de área. No obstante, en la medición del AR se tomaron en cuenta las raíces primarias y secundarias, por lo que esta variable demuestra el área total de las raíces en las estacas.

De acuerdo con los resultados, en *B. cordata* el AR se desarrolló, preferentemente, en concentraciones hormonales bajas, y *D. viscosa* en concentraciones altas en el experimento 4. Mientras que *S. praecox*, al parecer tendió a desarrollar un mayor AR en altas concentraciones hormonales, en los experimentos donde presentó enraizamiento.

Estos resultados, así mismo son un reflejo directo de las variables morfológicas de número y longitud de las raíces primarias y secundarias, así como de la capacidad de enraizamiento de cada especie. Solo que en el AR se establece la amplitud de la superficie radicular en el sustrato, y la distribución del sistema radicular de las estacas. Por tanto, el AR de las estacas en cada especie, también resultó de la influencia de las fitohormonas exógenas.

6.3.6 Peso seco radicular

El peso seco radicular (PSR) de las estacas, de las especies en los diferentes tratamientos hormonales de cada experimento se presenta en la Figura 8. Así, en el experimento 1 PSR no tuvo diferencias significativas en las diferentes concentraciones de AIB. Como se puede ver, el promedio máximo en el PSR de *B. cordata* es de 0.01 g obtenido en la concentración 100 ppm de AIB. Este valor es mucho mayor al obtenido en 1500 ppm de AIB comercial (Figura 8a).

En el experimento 2 se encontraron diferencias significativas en PSR ($F_{5, 119} = 2.638$; $P = 0.027$) ante las diferentes concentraciones de AIB. De esta forma, se observan grandes diferencias en el PSR, especialmente entre las últimas concentraciones, siendo la de 10000 ppm de AIB donde se presentó el peso máximo de 0.09 g (Figura 8b).

Por otro lado, en el experimento 3 PSR no mostró diferencias significativas entre las concentraciones hormonales. La especie *B. cordata* obtuvo un peso promedio de 3.98×10^{-3} g en la concentración 1000 ppm de AIB. *S. praecox* no parece tener una tendencia del PSR, aunque,

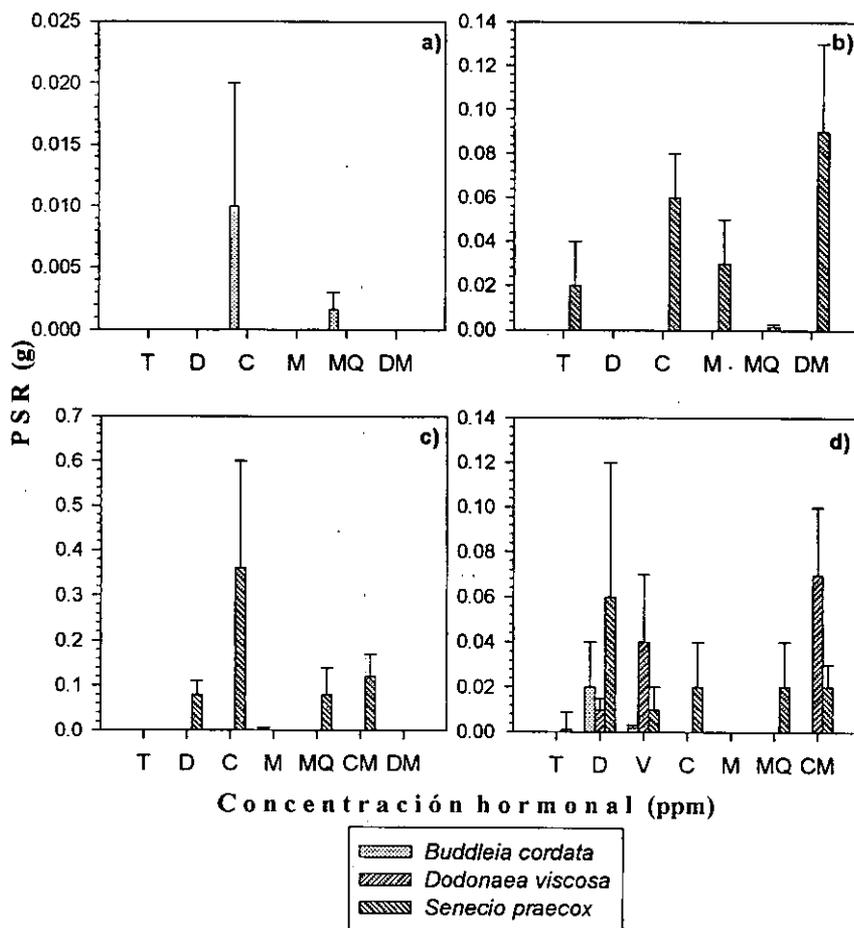


Figura 8. Peso seco radicular (PSR) en las diferentes concentraciones de AIB (T=Testigo, D=10, C=100, M=1000, MQ=1500 (Radix), CM=5000 (Radix) y DM=10000 ppm) y una de ANA (V=20 ppm) de los experimentos 1, 2, 3 y 4, en (a), (b), (c) y (d), respectivamente. Cada columna representa el promedio y las barras el error estándar.

alcanzó un peso máximo de 0.36 g en la concentración 100 ppm de AIB (Figura 8c). Este es el máximo valor alcanzado entre las especies, y de todos los experimentos.

En el análisis de varianza del experimento 4, PSR no presentó diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de hormonas. Como se puede observar, *B. cordata* obtuvo un peso máximo de 0.02 g en 10 ppm de AIB, mientras que *D. viscosa* presentó mayor peso seco radicular al incrementar la concentración hormonal. Así, el promedio máximo fue de 0.07 g en la concentración 5000 ppm de AIB comercial. En el caso de *S. praecox*, al parecer ocurrió lo contrario, ya que en la concentración 10 ppm de AIB alcanzó un peso máximo de 0.06 g. En cuanto a la concentración 20 ppm de ANA no causó un efecto relevante en el PSR de las especies (Figura 8d).

En la Figura 8 se observa que *B. cordata* alcanzó, preferentemente, un PSR en concentraciones hormonales medias y menores. Mientras que *D. viscosa* obtuvo un PSR máximo hacia las altas concentraciones hormonales, en el experimento 4. Por su parte, *S. praecox* no pareció tener alguna tendencia concreta en el PSR ante los diferentes tratamientos hormonales de los experimentos.

El PSR representa la biomasa de las raíces adventicias, por lo que simboliza, exclusivamente, las moléculas orgánicas sintetizadas durante el enraizamiento, sin considerar el agua acumulada. En este sentido, Leakey *et al.* (1994) menciona que el enraizamiento ocurre cuando la raíz alcanza un umbral en el valor del peso seco, así mismo en la biomasa que conforman las raíces adventicias existe un flujo predominante, de utilización de azúcares para el crecimiento estructural de las raíces. Además de esto, Díaz *et al.* (1995) considera que el PSR de las estacas es más favorable ante condiciones de alta humedad, ya que esto puede facilitar el movimiento de las reservas y la promoción e iniciación de las raíces.

En el PSR de cada especie, tiene una gran influencia la cantidad y longitud de las raíces adventicias, por lo que depende, en gran medida, de las variables morfológicas antes descritas. Sin embargo, el PSR puede ser un índice indirecto de los requerimientos de las fitohormonas exógenas en cada especie, así como del crecimiento de las raíces adventicias en términos de asignación de moléculas orgánicas como parte de la biomasa radicular.

6.3.7 Número de yemas

En la Figura 9 se presenta el número de yemas (NY) que brotaron en las estacas ante los diferentes tratamientos hormonales de los experimentos. Es importante señalar que *S. praecox* presentó yemas en todos los experimentos, mientras que *B. cordata* y *D. viscosa* formaron

yemas, solamente en el experimento 4. Esto también se presentó en los resultados de las variables morfológicas que se verán más adelante.

El NY no presentó diferencias significativas entre las concentraciones hormonales de AIB del experimento 1. Por tanto, se observa que en la respuesta de NY, no hay cambios significativos, dada la amplitud en las barras del error estándar de cada punto. Sin embargo, se puede apreciar una tendencia aparente de disminuir NY al aumentar la concentración hormonal. Aunque, aparentemente, vuelve a aumentar en 1500 ppm de AIB comercial.

En el experimento 2 se encontraron diferencias significativas en NY ($F_{5, 119} = 2.689$; $P = 0.0246$) entre las concentraciones de AIB. De esta forma se observa que NY aumentó gradualmente hasta la concentración 1000 ppm de AIB, y luego descendió en 1500 ppm de AIB comercial. Se observa que el grupo testigo es significativo con los resultados de 100, 1000 y 10000 ppm de AIB, mientras que el valor de 10 ppm de AIB es significativo con respecto a 1000 y 10000 ppm de AIB (Figura 9b).

Por otro lado, en el experimento 3 también se obtuvieron diferencias significativas ($F_{6, 139} = 2.966$; $P = 0.0096$) entre las concentraciones hormonales. Así, la tendencia fue de aumentar NY en la menor concentración hormonal (10 ppm de AIB) y luego disminuir, aparentemente, de forma gradual al aumentar la concentración hormonal (Figura 9c).

NY mostró diferencias significativas ($F_{2, 419} = 3.317$; $P = 0.0373$) en función de las especies, y de las concentraciones hormonales ($F_{6, 419} = 2.426$; $P = 0.0258$) del experimento 4. De esta forma, NY se debió tanto al efecto del tratamiento hormonal como de las especies. En *B. cordata*, aunque NY fue mayor en las concentraciones bajas, no se presentan cambios de valor significativo. En *D. viscosa* NY fue mayor considerablemente en la concentración 20 ppm de ANA y en 5000 ppm de AIB comercial. De esta manera, NY respondió favorablemente ante estas dos concentraciones de distintas fitohormonas de origen comercial. En el caso de *S. praecox* NY tuvo aumentó en la concentración 100 ppm de AIB, y luego descendió en concentraciones hormonales mayores (Figura 9d).

Cabe señalar, que es notable el efecto de la concentración 1500 ppm de AIB comercial en NY y sus tendencias en los dos primeros experimentos, ya que en el primero fue estimulante y en el segundo inhibitorio. Posiblemente esto indica que el AIB comercial influye de forma variable en NY, según la época seca o húmeda.

Por otro lado, durante cada experimento todas las especies presentaron brotes de yemas, sin embargo, muchas se secaron antes del tiempo de medición, como fue el caso de *E. polystachya*. En el experimento 4, las yemas de las especies que enraizaron perduraron en las estacas hasta su medición, excepto en *E. polystachya*. Lo que significa que las estacas foliosas de tejidos jóvenes mantuvieron más tiempo las yemas, que las estacas de tejidos

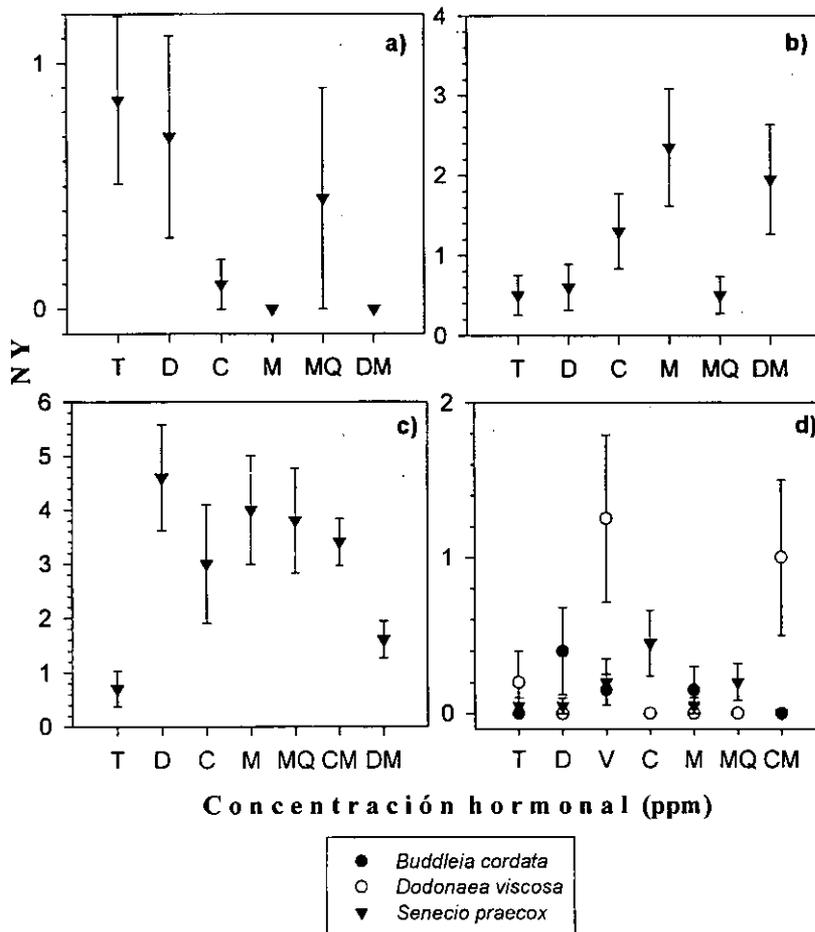


Figura 9. Número de yemas (NY) en las diferentes concentraciones de AIB (T=Testigo, D=10, C=100, M=1000, MQ=1500 (Radix), CM=5000 (Radix) y DM=10000 ppm) y una de ANA (V=20 ppm) de los experimentos 1, 2, 3 y 4, en (a), (b), (c) y (d), respectivamente. Cada punto representa el promedio y las barras el error estándar.

maduros. En cuanto a esto, Baldini (1992) y Santiago y Vargas (1999), mencionan que las estacas de tejidos maduros emiten una gran cantidad de brotes de forma muy rápida. Esto agota las reservas hídricas y nutritivas, incrementando la deshidratación, y la posible muerte de la estaca. Así, se ha visto que un ambiente de alta humedad en las estacas impide una transpiración excesiva y aumenta el índice de enraizamiento (Díaz *et al.*, 1995). Baldini (*op cit.*), señala que el brote de las yemas caulinares es un evento fisiológico que puede competir con el enraizamiento de las estacas.

En el caso de *S. praecox*, es probable que las yemas duren más tiempo en las estacas, debido a que los tallos de esta especie son suculentos y turgentes, y así puede tener un mejor abastecimiento de agua, lo que facilita el transporte de las sustancias.

Generalmente, en el enraizamiento de estacas primero se produce un vástago o brote (Baldini, 1992). Además, las yemas foliares en crecimiento representan zonas de síntesis de fitohormonas (Salisbury, 1994; Roni, 1995).

Por lo anterior, posiblemente las fitohormonas exógenas pueden influir en la emisión de yemas en las estacas. Esto se puede afirmar por el hecho de que NY presentó diferencias significativas, en función de las concentraciones hormonales en todos los experimentos, excepto en el primero.

6.3.8 Número de meristemos apicales

El número de meristemos (NMA) en los diferentes tratamientos hormonales de los experimentos se presenta en la Figura 10. Así, esta variable no mostró diferencias significativas entre las concentraciones de AIB del experimento 1. De esta manera, no se muestran cambios significativos aunque aparentemente la tendencia fue de disminuir NMA en las mayores concentraciones hormonales. En 1500 ppm de AIB comercial volvió a aumentar NMA (Figura 10a).

En el experimento 2, NMA no presentó diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de AIB. Se observa que esta variable fue mayor en las altas concentraciones hormonales, y luego descendió en 1500 ppm de AIB comercial (Figura 10b).

En el caso del experimento 3, tampoco se encontraron diferencias significativas en NMA ante las diferentes concentraciones hormonales. Sin embargo, se muestra que NMA alcanzó valores altos en las concentraciones bajas y medias, así como un mayor efecto en 1500 ppm de AIB comercial. Es importante mencionar que de todos los experimentos, el tercero presentó los valores de NMA más altos (Figura 10c).

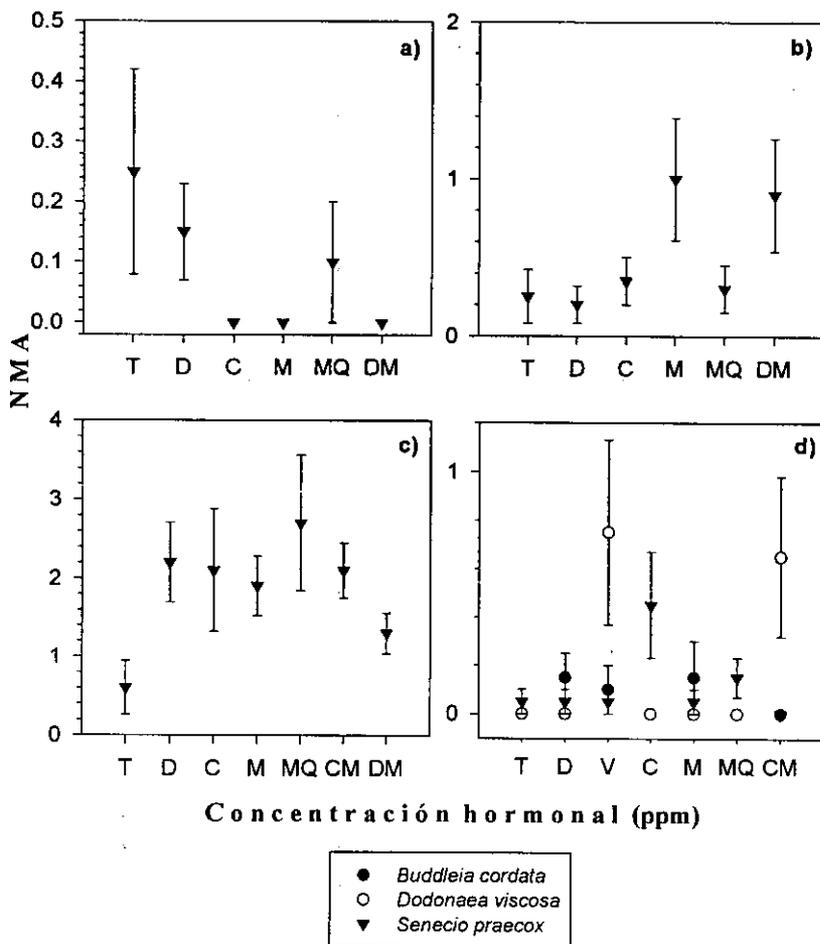


Figura 10. Número de meristemos apicales (NMA) en las diferentes concentraciones de AIB (T=Testigo, D=10, C=100, M=1000, MQ=1500 (Radix), CM=5000 (Radix) y DM=10000 ppm) y una de ANA (V=20 ppm) de los experimentos 1, 2, 3 y 4, en (a), (b), (c) y (d), respectivamente. Cada punto representa el promedio y las barras el error estándar.

En el experimento 4 no se obtuvieron diferencias significativas en NMA entre las concentraciones de hormonas. Así mismo, en *B. cordata* no se presentaron cambios significativos en NMA, ni tendencia alguna hacia el aumento o disminución. Mientras que, *D. viscosa* presentó en 20 ppm de ANA y en 5000 ppm de AIB comercial aumento del NMA en las estacas, y no se puede determinar una tendencia del mismo. En el caso de *S. praecox* NMA se mantuvo a niveles bajos, aunque presentó un promedio máximo de 0.45 meristemos en la concentración 100 ppm de AIB, y un ligero aumento en 1500 ppm de AIB comercial (Figura 10d). Por otro lado, la concentración comercial 1500 ppm de AIB tuvo un efecto promotor en NMA en los experimentos 1 y 3, medianamente favorable en el experimento 4 e inhibitorio en el experimento 2.

Cabe señalar, que las yemas en brotación presentaron meristemos activos, por tal motivo NY y NMA respondieron de forma similar, en términos generales, ante las concentraciones hormonales de cada experimento. Pero a diferencia de esto, NMA fue menor a NY en cada experimento. Esto es, no todas las yemas brotadas, necesariamente, presentaron meristemos. Respecto a esto, Salisbury (1994) menciona que la yema en desarrollo puede carecer de un tejido meristemático, lo que da lugar a la posibilidad de que algunas yemas estuvieron latentes en las estacas.

La importancia de los meristemos durante el enraizamiento es que son zonas donde se llevan a cabo divisiones mitóticas, y sintetizan las auxinas naturales, al mismo tiempo. Además de influir en la regeneración y capacidad totipotencial de los tejidos (Mohr y Schopfer, 1995; Hartmann, 1997). También, el hecho de que en las estacas los brotes continúen creciendo, se debe principalmente a la actividad meristemática (Roni, 1995; Mesén *et al.*, 1997). De esta forma un mayor NMA provoca el crecimiento de las hojas y tallos nuevos en las estacas.

Por lo anterior, y de acuerdo a los resultados obtenidos, es importante hacer notar que NMA nunca tuvo diferencias significativas entre las concentraciones hormonales de los experimentos. Esto demuestra que la formación de meristemos apicales en las estacas, no está en función de las fitohormonas exógenas, sino de la capacidad totipotencial y regenerativa, intrínseca en cada especie.

6.3.9 Número de hojas

En la Figura 11 se muestra el número de hojas (NH) formadas en las estacas bajo los tratamientos hormonales de los experimentos. En el experimento 1, NH no mostró diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de AIB. Sin embargo, las estacas obtuvieron un mayor NH en el grupo testigo, con un valor máximo de 1.2 hojas, aún cuando presentó un

amplio margen de error. Esto indica que para un mayor NH en las estacas no fue necesaria la aplicación de fitohormonas exógenas en la época seca. La concentración 1500 ppm de AIB comercial logró un NH mayor, pero menos significativo que el del grupo testigo (Figura 11a).

En el experimento 2 se encontraron diferencias significativas en NH ($F_{5, 119} = 3.261$; $P = 0.0086$) entre las concentraciones de AIB, por lo que existen amplias diferencias en NH. Esta variable tuvo un aumento gradual hasta la concentración 1000 ppm de AIB y declinó en las concentraciones superiores. En estas concentraciones, la de 1500 ppm de AIB comercial presentó el mayor efecto inhibitorio. Aún con esto, es evidente la diferencia del NH entre las concentraciones que van de 10 a 1000 ppm de AIB (Figura 11b).

En el experimento 3, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas en el número de hojas, entre las concentraciones hormonales. Se observa que la tendencia fue de aumentar el NH en las bajas concentraciones y luego descendió al aumentar la concentración hormonal. En este experimento se consiguió el mayor NH de todos los Experimentos (Figura 11c).

En el experimento 4, no se encontraron diferencias significativas en NH, entre las concentraciones de AIB, pero sí entre las especies ($F_{2, 419} = 3.472$; $P = 0.032$). *B. cordata* presentó un incremento de NH en la concentración 10 ppm de AIB. En *D. viscosa* se observa un aumento aparente de NH al aumentar la concentración hormonal, aunque existió un decremento hasta valores de cero entre las concentraciones 100, 1000 ppm y 1500 ppm comercial. En *S. praecox* no se observa ninguna tendencia o cambios que sean significativos en el NH (Figura 11d). Es importante mencionar que en los cuatro experimentos, la medición de NH en las estacas fue exclusivamente de las hojas nuevas que se formaron durante la propagación, por lo que en el experimento 4 se excluyeron las que provenían de la planta donante.

El desarrollo foliar en el enraizamiento es importante ya que las hojas pueden contribuir con la síntesis auxínica (Hartmann, 1997). Además de proveer de moléculas orgánicas generadas a partir del proceso de fotosíntesis. Sin embargo, la formación de hojas puede ser un proceso fisiológico que compite con el enraizamiento. Esto perjudica la sobrevivencia de la estaca, ya que puede haber una transpiración no compensada, que trae como resultado la marchitez de las estacas que todavía no enraizan (Baldini, 1992). Y las estacas foliosas de tejidos jóvenes son muy vulnerables a la desecación (Leakey *et al.*, 1994).

Por otro lado, las hojas son como indicadores del enraizamiento, ya que según Hartmann (1997), las hojas en las estacas son consideradas, más como una consecuencia que

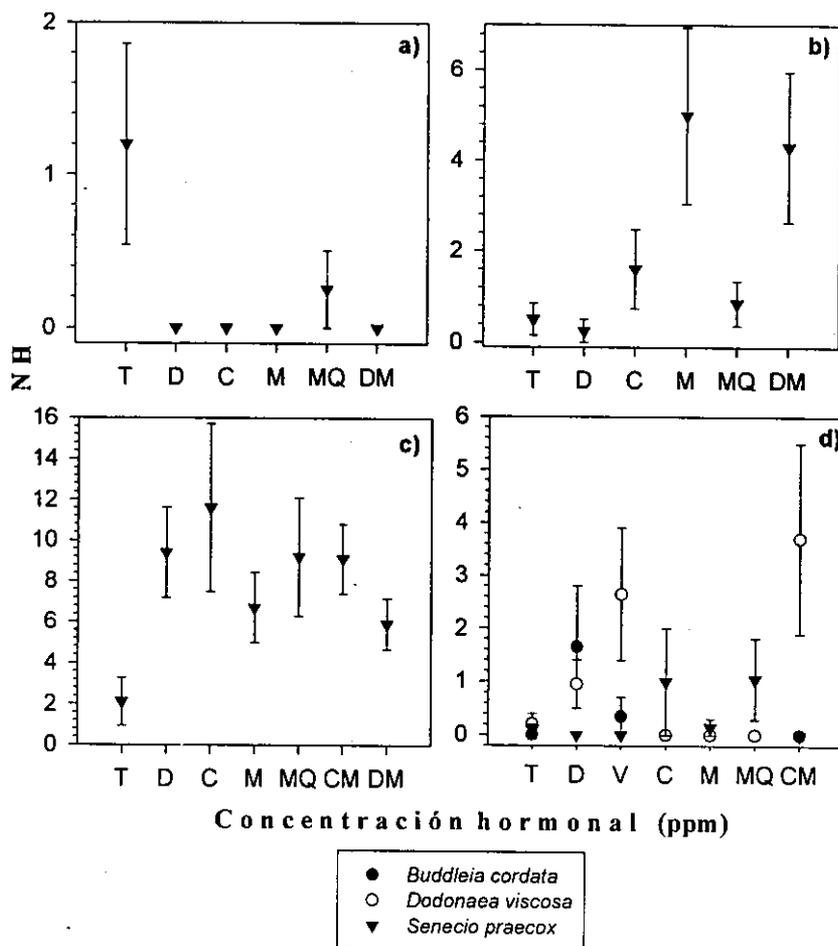


Figura 11. Número de hojas en las diferentes concentraciones de AIB (T=Testigo, D=10, C=100, M=1000, MQ=1500 (Radix), CM=5000 (Radix) y DM=10000 ppm) y una de ANA (V=20 ppm) de los experimentos 1, 2, 3 y 4, en (a), (b), (c) y (d), respectivamente. Cada punto representa el promedio y las barras el error estándar.

como una causa directa del enraizamiento. Díaz *et al.* (1995), menciona que las reservas en las hojas de las estacas, al ser translocadas de forma basipétala, facilitan la iniciación y desarrollo de las raíces adventicias. De esta forma, aunque solo en el experimento 2 NH fue diferente significativamente en función de las concentraciones de AIB, no se puede asegurar que esta variable se debió al efecto de las diferentes concentraciones hormonales en los experimentos.

6.4 Relación entre el diámetro basal y número de raíces primarias en las estacas

El resultado de los análisis de regresiones simples entre el diámetro basal (DB) y NRP, se presentan en la Cuadro 1. De acuerdo con los resultados obtenidos, existió relación entre DB y NRP, en las estacas de *D. viscosa*, en el experimento 4. Mientras que en *B. cordata* y *S. praecox*, en cualquier experimento, no existió tal relación.

Por otro lado, el aprovechamiento de los carbohidratos durante el enraizamiento es un factor importante en el inicio de los primordios radiculares (Haissing, 1973). En este sentido, el diámetro de una estaca puede determinar la capacidad de almacenaje de los nutrimentos, teniendo efectos favorables, o no en el enraizamiento (Kantarci y Ayfer, 1994; Dick *et al.*, 1996). De esta forma, las estacas de diámetro grueso, al tener una mayor área en los tejidos por regenerarse, aumentan la actividad metabólico-respiratoria en la parte basal, y esto puede contribuir al incremento del potencial de enraizamiento, además de tener mayor resistencia física. En cambio, las estacas con diámetro delgado agotan los carbohidratos, pudiendo inhibir el proceso de fotosíntesis y consecuentemente el enraizamiento (Leakey *et al.*, 1994).

Por lo anterior, tal vez en *D. viscosa* el DB mayor (0.50 cm), en las estacas foliosas de tejidos jóvenes fue más favorable en el aprovechamiento de los carbohidratos y por tanto en el aumento de NRP.

Los resultados anteriormente evaluados en *B. cordata*, sugieren que el efecto de las fitohormonas exógenas tuvo mayor influencia en NRP, que el DB en las estacas. Por tanto, es probable que la cantidad de carbohidratos y sustancias de reserva en las estacas, sin importar su diámetro, sean las suficientes en la formación de raíces primarias. Así mismo, en *S. praecox*, al no haber ninguna influencia de DB en NRP, tal vez la formación de raíces también tuvo la cantidad apropiada de carbohidratos y sustancias de reserva en las estacas. En este caso la especie siempre cuenta con tallos suculentos, independientemente del DB de las estacas.

Por otro lado, considerando que la parte basal es una zona importante en el enraizamiento. Las temperaturas altas en el sustrato, según varios autores, influyen de forma positiva en el enraizamiento. Respecto a esto, en el mayor porcentaje de enraizamiento de

B. cordata y *S. praecox* (Figuras 2a y 2c), el sustrato registró una temperatura media de 21.2 y 2.5 °C, respectivamente. En el caso de *D. viscosa* no se pueden hacer comparaciones debido a que las estacas solamente enraizaron en el experimento 4.

CUADRO 1. Análisis de regresiones simples de la relación entre el diámetro basal de las estacas y el número de raíces adventicias formadas en las especies en cada experimento. Las letras r^2 , F, P, a y b, corresponden al coeficiente de determinación, el valor que determina la predicción de la variable dependiente, el valor de probabilidad, la ordenada al origen y la pendiente, respectivamente.

Especie	Experimento	r^2	F	P	a	b
<i>B. cordata</i>	1	0.054	0.221	0.657	-2.5	3.195
	4	0.283	1.183	0.356	19.52	-20.4
<i>D. viscosa</i>	4	0.505	11.215	0.0065	-18.7	77.05
<i>S. praecox</i>	2	0.05	1.331	0.259	2.5	2.77
	3	0.039	0.695	0.416	1.9	1.23
	4	0.072	1.466	0.241	-1.59	5.23

7. CONCLUSIONES

La capacidad de enraizamiento en las estacas es diferente en todos los experimentos y en cada uno de ellos, al mismo tiempo que la sobrevivencia. La formación de callo influyó más en la sobrevivencia que en el enraizamiento de las estacas.

La mayor capacidad de enraizamiento de las estacas de *B. cordata* en la época seca se puede deber a un mejor equilibrio hormonal y ambiental, pudiendo tolerar medianamente las condiciones secas. *D. viscosa* solo obtuvo enraizamiento en las estacas foliosas de tejidos jóvenes, en la época húmeda. Por lo que las condiciones húmedas y el tipo de estaca fueron características determinantes en la propagación de esta especie. *E. polystachya* no presentó enraizamiento de sus estacas, por lo tanto es necesario hacer estudios futuros de las características anatómicas, fisiológicas y ambientales durante la propagación de esta especie. En *S. praecox* la mayor capacidad de enraizamiento se presentó en las estacas de tejidos maduros en la época húmeda. Tal vez debido a que este tipo de estacas y sus tallos provistos de agua favorecieron, en gran medida, el enraizamiento.

Las estacas de *B. cordata* enraizan con diferentes requerimientos hormonales en cuanto a la época y el tipo de estaca, mientras que las variables morfológicas (NRP, LRP, NRS, LRS, AR, PSR, NY, NM y NH) se desarrollaron mejor en concentraciones hormonales medias y bajas. En *D. viscosa* el enraizamiento de las estacas se vio favorecido por las bajas concentraciones hormonales, y de igual forma en las variables morfológicas, siendo la fitohormona ANA, de origen comercial, la que dio mejores resultados.

S. praecox presentó mayor respuesta en el enraizamiento de las estacas ante los tratamientos hormonales en los experimentos. Por ello esta especie requirió, preferentemente, de concentraciones hormonales medias y bajas para el enraizamiento, y se observó lo mismo en las variables morfológicas.

El aumento del diámetro basal en las estacas de *D. viscosa* parece aumentar el número de raíces primarias, mientras que en *B. cordata* y *S. praecox* no existió dicha relación.

De esta manera, la reforestación con dichas especies nativas de la Reserva del Pedregal de San Angel, a través de la propagación por estacas, puede ser una técnica útil, dentro de la restauración ecológica, y así poder evitar la reducción de esta zona natural y la pérdida de su biodiversidad.

8. REFERENCIAS

- Alvarez F. J., J. Carabias, J. Meave del C., P. Moreno, D. Nava, F. Rodríguez, C. Tovar y Valiente-Banuet. 1986. Proyecto para la creación de una Reserva en el Pedregal de San Angel. En: Rojo A. *Reserva Ecológica del Pedregal de San Angel: Ecología, Historia Natural y Manejo*. UNAM. México, D.F.
- Arriaga V., V. Cervantes y A. Vargas-Mena. 1994. *Manual de reforestación con especies nativas*. SEDESOL y UNAM. México, D.F. Pp. 219
- Baldini E. 1992. *Arboricultura General*. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Barradas V. L. 2000. Modificación del microclima con énfasis en la conservación y la restauración ecológica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 65: 83-88.
- Cano-Santana Z. Y J. Meave. 1996. Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. *Ciencias*. 41: 58-68
- Díaz Y., Viera J. y Vargas G. 1995. Posibilidad de propagación asexual por estacas en *Pachecoa venezuelensis* Burkart. *Agronomía Tropical* 45(4): 551-559.
- Dick J. Mc P., Bisset H. y Mc Beath C. 1996. Provenance variation in rooting ability of *Calliandra calothyrsus*. *Forest Ecology and Management* 87: 175-184.
- Gómez A., A. Barrera, J. M. Gutierrez-Vázquez y G. Halffer. 1980. CNEB. *Biología: Unidad, Diversidad y Continuidad de los seres vivos*. CECSA. UNAM y IPN. México, D.F.
- Davies P.J. 1990. *Plant hormones and their role in Plant Growth and Development*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Ed. 1995. *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry, and Molecular Biology*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Degollado D. 2000. *Relaciones hídricas internas de Cissus sicyoides L. y Dodonaea viscosa (L.) Jacq. de la Reserva del Pedregal de San Angel*. Tesis de Biólogo. Facultad de Ciencias. UNAM, México.
- Gonzalez V. y Camacho F. 1994. *Avances en la propagación de cuatro especies presentes en El Pedregal de San Angel D.F.* En: Rojo A. *Reserva Ecológica del Pedregal de San Angel: Ecología, Historia Natural y Manejo*. UNAM. México. Pp. 403-410.
- González-Zertuche L., A. Orozco y C. Vázquez-Yanes. 2000. El ambiente de la semilla en el suelo: su efecto en la germinación y la sobrevivencia de la plántula. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 65: 73-81.

- Gretchen H. 1995. The control of gene expression by auxin. En: Davies P.J. (ed.). *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry, and Molecular Biology*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Haissing, B. E. 1973. Metabolism during adventitious root primordium initiation and development. *New Zealand Journal of Forestry Science* 4(2): 324-37.
- Hartmann H. y D. Kester. 1997. *Plant Propagation: Principles and Practics*. Prentice-Hall, New Jersey. U.S.A.
- Iglesias G. L., R. Prieto, A. José y B. M. Alarcón. 1996. La propagación vegetativa de plantas forestales. *Ciencia Forestal en México* 21 (79): 15-37
- Kantarci M. y Ayfer M. 1994. Propagation of some important Turkish Hazelnut varieties by cuttings. *Acta Horticulturae* 351: 353-360.
- Kees R. L. y M. M. Albert. 1995. Hormone Binding and Signal Transduction. En: Davies P.J. Ed. *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry, and Molecular Biology*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Kramer P. J., y T. T. Kowłowski. 1994. *Woody Plant Physiology*. Academic Press. San Diego, California, U.S.A.
- Lambers H., S. Chapin III, y T. Pons. 1998. *Plant Physiological Ecology*. Springer. New York. U.S.A.
- Leakey y Newton A.C. 1994. *Tropical Trees: the Potential for Domestication and the Rebuilding of Forest Resources*. HMSO, Londres
- , Newton A.C. y Mc P. Dick. 1994. Capture of genetic variation by vegetative propagation: processes determining success. 72-83. En: Leakey R.R.B. y Newton A.C. *Tropical Trees: the Potential for Domestication and the Rebuilding of Forest Resources*. HMSO, Londres
- Lomax T. L., G. K. Moday y P. H. Rubery. 1995. Auxin Transport. En: Davies P.J. Ed. *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry, and Molecular Biology*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Longman, K. A. y R. H. F. Wilson. 1993. *Tropical Trees: Propagation and Planting Manuals*, Vol. 1, Tropical Trees. Commonwealth Science Council, Londres.
- Luken J. O. 1990. *Directing Ecological Sucession*. Chapman and Hall. U.S.A.
- Martínez R. E. 1996. La restauración ecológica. *Ciencias* 43 P.p. 56-61
- Meave J., J. Carabias, V. Arriaga y A. Valiente- Banuet. 1994. Observaciones fenológicas en el Pedregal de San Angel. En: Rojo A. *Reserva Ecológica del pedregal de San Angel: Ecología, Historia Natural y Manejo*. UNAM. México, D.F.

- Mesén F., Newton A. C. y Leakey R. R. B. 1997. Vegetative propagation of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken: the effects of IBA concentration, propagation medium and cutting origin. *Forest Ecology and Management* 92: 45-54
- Mohr H. y P. Schopfer. 1995. *Plant Physiology*. Springer. Berlin. Germany.
- Otto J. H y A. Towle. 1991. *Biología Moderna*. 11ª Edición. Mc Graw-Hill. México, D.F.
- Patño-Alvarado, C. y V. L. Barradas. 1997. El manejo sustentable de los recursos naturales: *La Ciencia y el Hombre* 27: 87-101.
- Prieto R. J. A. 1992. Algunos factores que influyen en la propagación de estaquillas de *Cupressus guadalupensis* S. Wats. En: Santiago G. D. y J. H. Vargas. Estudio de algunos factores que afectan el enraizamiento de estacas de *Tilia mexicana* Schl. *Foresta Veracruzana* 1(3): 11-18.
- Ramos V.A. 1998. *Efecto de las condiciones microclimáticas sobre la respuesta estomática en tres especies vegetales de la Reserva del Pedregal de San Angel*. Tesis de Maestría en Ciencias (Ecología y Ciencias Ambientales) Facultad de Ciencias. UNAM, México.
- Roni Alóni. 1995. The Induction of Vascular Tissues by Auxin and Cytokinin. Pp. 531-546. En: Davies P.J. Ed. *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry, and Molecular Biology*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Rojas G. M. 1984. *Fisiología vegetal aplicada*. Mc Graw-Hill. México.
- Rojo A. 1994. *Reserva Ecológica del pedregal de San Angel: Ecología, Historia Natural y Manejo*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Rzedowski J. 1994. Vegetación del Pedregal de San Angel. (Distrito Federal, México). En: Rojo A. *Reserva Ecológica del Pedregal de San Angel: Ecología, Historia Natural y Manejo*. Reimpresión. UNAM. México. Pp. 9-65.
- y Rzedowski G. Ed. 1991. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Vol. 1. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I.P.N. México, D.F.
- Salas, R. 1990. *Evaluación de una plantación de coníferas en el volcán Ajusco, D.F.* Tesis de Maestría (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM
- Salisbury B. y W. Ross. 1994. *Fisiología Vegetal*. Iberoamericana. México, D.F.
- Sánchez S. O. 1976. *La Flora del Valle de México*. Herrero. México, D.F. Pp 519
- 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(3): 11-18.
- Schmitter E. 1953. Investigación petrológica en las lavas del pedregal de San Angel. Memorias del Congreso Científico Mexicano. No. 3. En: Rojo A. *Reserva Ecológica del pedregal de San Angel: Ecología, Historia Natural y Manejo*. UNAM. México, D.F.

- Soberón J. M., M. de la Cruz y G. Jiménez. 1991. Ecología hipotética de la Reserva del Pedregal de San Angel. *Ciencia y Desarrollo*. (99): 25-38. En: Rojo A. *Reserva Ecológica del pedregal de San Angel: Ecología, Historia Natural y Manejo*. UNAM. México, D.F.
- Sunil P. y R. C. Verma. 1996. Vegetative propagation of *Dalbergia sissoo* Roxb. using softwood and hardwood stem cuttings. *Journal of Arid Environments* 34: 235-245.
- Taiz L. y E. Zeiger. 1998. *Plant Physiology*. Sinauer. Sunderland, Massachusetts, U.S.A.
- Valiente-Banuet A. y E. G. Luna. 1990. Una lista florística actualizada para la reserva del Pedregal de San Angel, México D.F. *Acta Botánica Mexicana*. 9: 13-30
- Vázquez-Yanes C. e I. Batis. 1996. Adopción de árboles nativos valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 58: 75-84
- , A. Orozco, M. Rojas, M. E. Sánchez y V. Cervantes. 1997. *La reproducción de las plantas: Semillas y meristemas*. La Ciencia para todos. No.157. F.C.E. México, D.F.
- Weber R. F. y C. Stoney. 1986. *Reforestation in Arid Lands*. Volunteers in Technical Assistance. U.S.A. Pp 335.