



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

**EVALUACIÓN DE TRES FACTORES DE ENRAIZAMIENTO EN
ESTACAS DE MORERA (*Morus alba*).**

EUGENIO ANDRÉS HENRÍQUEZ MADARIAGA

SANTIAGO – CHILE

2004

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE TRES FACTORES DE ENRAIZAMIENTO EN MORERA
(Morus alba)

**Memoria para optar al Título Profesional
de Ingeniero Agrónomo.
Mención: Producción Animal.**

Eugenio Andrés Henríquez Madariaga

PROFESORES GUÍAS	CALIFICACIONES
Sra. Myrna Johnston B. Prof. de Biología, Ms. Sc.	5,8
Sr. Alfredo Olivares E. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	5,8
PROFESORES CONSEJEROS	
Sra. Loreto Prat Del Río Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	6,0
Sr. Héctor Manterola B. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	5,5

Santiago, Chile. 2004

A mis padres

AGRADECIMIENTOS

Les doy gracias a todas las personas que de una u otra forma estuvieron conmigo en tiempos difíciles y en forma muy especial a:

- A mis padres María Tereza y Eugenio por su paciencia y apoyo incondicional en los buenos y malos momentos.
- A mi hermano Francisco por escucharme, alentarme y por sus sabios consejos.

Finalmente a la Universidad De Chile y a los profesores que me ayudaron a cumplir el sueño de ser un Agrónomo de la Chile.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
RESUMEN	1
SUMMARY	2
INTRODUCCIÓN	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
Descripción de la planta	5
Propagación por estacas	5
Formación de raíces adventicias	7
Bases fisiológicas de la iniciación de la raíz en las estacas	8
Efecto de los carbohidratos en el enraizamiento	10
Cofactores de enraizamiento y su comportamiento sinérgico con la auxina	10
Ejemplos de propagación por estacas en especies leñosas	14
MATERIALES Y MÉTODO	16
Ubicación del ensayo	16
Materiales	16
Método	16
Variables evaluadas	20
Diseño experimental	21
Análisis estadístico	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
Formación de callo	22
Efecto del AIB	22
Efecto de la posición sobre el sustrato	23
Efecto del tipo de estaca	24
Efecto conjunto del AIB y tipo de estaca	25
Efecto conjunto del AIB y Posición sobre el sustrato	27

Inducción de raíces	29
Efecto del AIB	29
Efecto de la posición sobre el sustrato	31
Efecto del tipo de estaca	32
Efecto conjunto del AIB y tipo de estaca	34
Efecto conjunto del AIB y posición sobre el sustrato	36
Largo de raíces	38
Efecto del AIB	38
Efecto de la posición sobre el sustrato	40
Efecto del tipo de estaca	41
Efecto conjunto del AIB y tipo de estaca	42
Efecto conjunto del AIB y posición sobre el sustrato	45
Ramificación de raíces	47
Efecto del AIB	47
Efecto de la posición sobre el sustrato	48
Efecto del tipo de estaca	49
Efecto conjunto del AIB y tipo de estaca	50
Efecto conjunto del AIB y Posición sobre el sustrato	52
Viabilidad de raíces	55
Efecto del AIB	55
Efecto de la posición sobre el sustrato	56
Efecto del tipo de estaca	57
Efecto conjunto del AIB y tipo de estaca	57
Efecto conjunto del AIB y posición sobre el sustrato	59
Brotación de las yemas en estacas de <i>Morus alba</i>	60
Formación y calidad del sistema radical inducido	62
CONCLUSIONES	66
LITERATURA CITADA	67

RESUMEN

La Morera (*Morus alba*) es un árbol caducifolio, que en su país de origen se usa para la alimentación del gusano de seda y su fruto para consumo humano. Esta especie ha demostrado tener buen potencial como arbusto forrajero en países de clima tropical. Actualmente, en Chile se está investigando su uso y es por esto que es importante estudiar su propagación.

En el presente trabajo se estudió la concentración de ácido indol-butírico, posición sobre el sustrato y tipo de estaca más apropiado para su propagación vegetativa. Los tratamientos empleados en este estudio permitieron lograr un 28% de raíces inducidas y un porcentaje de estacas establecidas cercano al 7%.

La aplicación de ácido indol-butírico, sin importar la concentración, en la base de la estaca favoreció y aceleró el enraizamiento. Respecto al tipo de estaca, se obtuvieron los mejores resultados con estacas delgadas largas, gruesas largas y cortas, provenientes de la zona media y basal de ramillas de un año. No se apreció un efecto de la posición de la estaca sobre el sustrato en el enraizamiento. Posiblemente la época de colecta de las estacas y el tipo de sustrato empleado hayan influido en el enraizamiento.

Palabras Claves

Enraizamiento de estacas

Propagación de plantas

Morus alba

Raíces adventicias

Ácido Indol-butírico

SUMMARY

The Mulberry (*Morus alba*) it is a tree caducifolius that has been used for the feeding of the silk worm and also to produce their fruit for human consumption in their origin country. This specie has shown a potential as forage source in tropical weather countries. At present a study is been carried out in order to study the feasibility to introduce the Mulberry as forage source in Chile, by using the biotypes present as ornamental trees.

In this study, the IBA concentration, position of the cutting and kind of cutting most suitable for vegetative reproduction were studied. Treatments were used allowed to obtain 28% of induced roots and a growing cuttings near 7%.

IBA application, independent of it's concentration at the end of the cutting favored and accelerated the rooting. In relation to the type of cutting, best results were obtained with thin and long, thick and long and thick and short cutting, all obtained from the basal and medial zone of yearly stem. The position of cutting did not produce any effect on the rooting. Posibly the season of collection, the cutting and the substrate used could have influenced the rooting.

Key Words:

Rooting of cutting

Plant propagation

Morus alba

Adventitious roots

Indolbutiric acid

INTRODUCCIÓN

La morera es un árbol caducifolio originario de Asia Oriental, del cual, se utiliza principalmente, la hoja para la alimentación del gusano de seda y su fruto para el consumo humano. Además, sus hojas sirven como forraje, ya que tiene propiedades alimenticias tan buenas o mejores que las de la alfalfa, especialmente para animales productores de leche (Martínez, 1943).

El follaje de la morera, en países tropicales, tiene un buen valor forrajero, presentando una digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) del 72% y un contenido de proteína bruta (PB) del 22%. Los tallos presentan una DIVMS del 42% y un contenido de PB de 9%, además de niveles altos de cenizas (Benavides, 1999). En climas mediterráneos como en Chile, el follaje de esta especie alcanza, en septiembre, al inicio del período de crecimiento, valores de DIVMS superiores al 90% y de PB del 25%, los que disminuyen en enero a un 80% y 16% respectivamente. Los valores de DIVMS, en los tallos tiernos, varían entre un 70 y un 40% y de PB entre un 25 y un 17% entre los meses de septiembre y enero (Hernández *et al*, 2003).

En condiciones tropicales, esta especie muestra una tolerancia a períodos secos, rápida recuperación una vez iniciado el período lluvioso y, muy especialmente, gran capacidad de recuperación y rebrote a cortes realizados a nivel del suelo a mediados del período seco (Benavides *et al*, 1999). En un estudio en que se evaluó el efecto de la densidad de plantación y de la frecuencia de corte en el rendimiento y valor nutritivo de *Morus multicaulis*, Rojas *et al* (2003) observaron que en esta especie, a medida que se disminuye la densidad de plantación, se incrementa la producción por superficie y que, si se aumenta la frecuencia de corte, la fitomasa por planta y por superficie aumentaba.

En el presente trabajo se planteó como hipótesis que la magnitud y calidad de producción de raíces adventicias en estacas de tallo dependen, entre otras condiciones, de la aplicación de un regulador de crecimiento, de la posición sobre el sustrato y de la longitud y grosor de las estacas

Como objetivo se plantea evaluar el efecto de distintas concentraciones de ácido indolbutírico, tipos de estacas y forma de plantación en la calidad del enraizamiento de estacas de *Morus alba*.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Descripción de la planta

La morera es una especie caducifolia que pertenece al orden *Urticales*, familia *Moraceae* y género *Morus*. La familia *Moraceae* se subdivide en cuatro subfamilias que agrupan 55 géneros y 950 especies, en su mayoría intertropicales. Es originaria de China y es un árbol frondoso de ramas finas, cuyas hojas se utilizan, desde hace cinco mil años, para alimentar a los gusanos de seda. Las especies más conocidas son *Morus alba* y *Morus nigra* (Sánchez, 1999).

Planta leñosa, de tamaño medio – bajo, con hojas generalmente alternas, simples, íntegras hasta lobadas, brillantes y estipuladas. Flores en inflorescencias cimosas, agrupadas en glomérulos globulosos y frutos de color blanco a morado. *M. alba* y *M. nigra*, son principalmente utilizadas en la alimentación del gusano de seda, control de erosión y como planta ornamental. Su uso como planta forrajera ha sido reconocido en Centroamérica (Sánchez, 1999).

Su cultivo se realiza generalmente con temperaturas de 18 a 38⁰ C; precipitación de 600 a 2.500 mm; fotoperíodo de 9 a 13 horas/día y humedad relativa de 65 a 80%. Se cultiva desde el nivel del mar hasta 4.000 m de altitud y se reproduce por semilla, estaca, acodo e injerto (Benavides, 1999).

Propagación por estacas

Una alternativa común de propagación es la vegetativa, por medio de estacas. Este método consiste en separar un fragmento vegetal, mantenerlo vivo y conseguir que se regenere (Heede y Lecourt, 1981). Las estacas pueden provenir de un tallo, una raíz o una

hoja y se denomina estaca de tallo, raíz u hoja (Hartmann y Kester, 1988). Este sistema permite que las variedades e híbridos existentes, o futuras plantas mejoradas, sean inmediatamente incorporadas a los sistemas de producción.

En ambientes tropicales el establecimiento de estacas de morera es mayor al 90%. No es necesario preparar el terreno ni corregir la acidez del suelo. Las estacas pueden guardarse por más de una semana a la sombra y por más de 100 días en cámara fría sin afectar la capacidad de enraizamiento (Benavides, 1999).

Otra de las ventajas de esta forma de propagación es que a partir de plantas madres es posible reproducir una gran cantidad de plantas en un espacio limitado. Además, se obtiene una mayor uniformidad en las plantas establecidas, debido a la ausencia de variaciones genéticas que, en general, aparecen en las plantas provenientes de semilla (Hartmann y Kester, 1988).

Sin embargo, la propagación por estacas presenta algunos inconvenientes: las plantas obtenidas por esta vía son menos vigorosas, debido a su sistema radicular superficial y relativamente pobre; además estas plantas son relativamente menos resistentes a enfermedades, que en muchos casos son producto de lo anterior. No todas las especies toleran este tipo de propagación, por lo que es imprescindible el uso de fitohormonas y reguladores de crecimiento (Cuculiza, 1956).

Las estacas obtenidas de especies de hoja caduca, se denominan “estacas de madera dura” y “estacas de madera suave” o “de madera semidura” a las que se recolectan durante la temporada de crecimiento; mientras las plantas presentan tallos no lignificados o cuya madera ha madurado sólo parcialmente (Weaver 1976).

Formación de raíces adventicias

Según Botti (1999), la formación y el desarrollo de raíces a partir de estacas puede dividirse en cuatro etapas: inducción y diferenciación de un grupo de células meristemáticas (inicio de división celular); aumento de las divisiones celulares para formar los primordios iniciales (aún no determinados); organización de estos grupos en primordios radiculares (cuando hay aproximadamente 1500 células en cada primordio inicial) y crecimiento, diferenciación y emergencia de las nuevas raíces, incluyendo la ruptura de tejidos superficiales para permitir su salida y la conexión vascular con los tejidos vasculares de la estaca.

Los tejidos de los tallos más susceptibles a formar primordios radicales son: epidermis, parénquima cortical, parénquima radial, cambium vascular y parénquima floemático (Botti, 1999).

Las raíces adventicias suelen originarse a partir de células que se dividen en la proximidad del floema de los vasos conductores, los cuales forman un callo del que se diferencian luego las raíces. Si se produce una herida en una planta herbácea, las células parenquimáticas próximas a la herida se desdiferencian y vuelven a dividirse para formar un callo cicatricial, el cual corresponde a un conjunto de células parenquimáticas en varios estados de lignificación. En los vegetales leñosos, el callo suele proceder del cambium, aunque también de la corteza y médula. Más tarde empiezan a aparecer en algunas células del callo diferenciaciones que conducen a un nuevo tejido: se forman, por ejemplo, puntos vegetativos caulinares o radicales y se establece la unión con los elementos conductores (Strasburger, 1994).

En la mayoría de las plantas, la formación de callo y de las raíces son independientes entre sí y cuando ocurren en forma simultánea es debido a su dependencia de condiciones internas y ambientales similares (Hartmann y Kester, 1988).

Gutiérrez (1995), señala que la formación de raíces depende de una serie de factores internos o endógenos, los que interactúan, en forma compleja, generando cambios en el metabolismo, la desdiferenciación y el crecimiento.

Bases fisiológicas de la iniciación de la raíz en las estacas

El desarrollo vegetal está influenciado, entre otros factores, por diversas sustancias de síntesis natural, conocidas como hormonas, y otras sintéticas denominadas reguladores de crecimiento. Para distinguir entre hormonas vegetales y reguladoras del crecimiento, se puede decir que, todas las hormonas regulan el crecimiento, pero que no todos los reguladores del crecimiento son hormonas. De las fitohormonas (etileno, giberelinas, citoquininas, auxinas e inhibidores del crecimiento, como el ácido abscísico), las auxinas son los que tienen el mayor efecto sobre la formación de raíces (Hartmann y Kester, 1988).

Para explicar el proceso de inducción de raíces, existe la teoría de la rizocalina de Bouillene, la cual establece que un compuesto fenólico no específico (posiblemente dihidroxifenol) actúa como cofactor del enraizamiento. Este cofactor es producido en las hojas y yemas de la estaca y posteriormente translocado a la región del enraizamiento, donde en presencia de un factor no específico; que es translocado y que se encuentra en concentraciones bajas en los tejidos y de una enzima específica, localizada en las células de ciertos tejidos (polifenol-oxidasa), completan el complejo rizocalina, el cual actúa como estimulante de la rizogénesis. (Bonga, 1983; Pardos, 1985; Hartmann y Kester, 1990; citados por Gutiérrez, 1995).

Es sabido que la presencia de hojas en las estacas ejerce una fuerte acción estimulante sobre la iniciación de raíces. Es probable que el fuerte efecto promotor de inducción de raíces que ejercen las hojas y yemas, se deba a otros factores más directos, dado que las yemas y hojas son poderosos productores de auxinas y los efectos se observan

directamente debajo de ellas, ya que existe un transporte polar, del ápice a la base. (Hartmann y Kester, 1997).

Estas auxinas se sintetizan en las hojas y meristemas apicales, a partir del aminoácido triptofano. La auxina ácido indol-3-acético (IAA) es una hormona natural que promueve la formación de raíces adventicias. También se ha demostrado que las formas sintéticas, como los ácidos indol-butírico (IBA) y naftalenacético (NAA), son más efectivos que el IAA para estimular la formación de raíces en estacas, debido a que no son tóxicos para las plantas en una amplia gama de concentraciones y estimulan el enraizamiento en un gran número de especies, además presentan una mayor fotoestabilidad (Hartmann y Kester, 1988).

Las auxinas se mueven a través de células parenquimáticas, desde su lugar de formación hacia los haces vasculares del tallo y; a diferencia de lo que ocurre con los azúcares, iones y otros solutos, que se transportan a través de los tubos cribosos del floema; este transporte, célula a célula, se caracteriza por ser más lento; además, es un transporte polar, es decir, siempre basipétalo; en las raíces también es un transporte polar, pero en sentido acropétalo, hacia los ápices (Strasburger, 1994).

Para el crecimiento de raíces, en general se requieren bajas concentraciones auxínicas (dependiendo de la especie y la edad de la planta), debido a que las células de los meristemas radicales contienen un nivel de auxinas, provenientes de la parte aérea, suficientes para una elongación normal; no así para la formación de raíces adventicias, en donde se requieren mayores concentraciones (Salisbury, 1991).

Las auxinas cumplen un rol primordial en la elongación celular y este puede ser descrito en dos procesos: aumentan la plasticidad de la pared celular y participan en reacciones que permiten el depósito de celulosa dentro de las paredes. Estos dos fenómenos se producen debido a que las microfibrillas de celulosa, orientadas inicialmente en ángulo

recto al eje longitudinal de crecimiento, van modificando su ángulo de posición durante el crecimiento, para finalmente orientarlas casi paralelas a dicho eje, lo que produce un estiramiento de la pared celular y por consiguiente un alargamiento de la célula. Además, las auxinas intervienen en el crecimiento del tallo, inhibición de yemas laterales, abscisión de hojas y de frutos, activación de las células del cambium y otras. (Salisbury, 1991).

Efecto de los carbohidratos en el enraizamiento

La iniciación de raíces en las estacas requiere de energía. Considerando que las sustancias lipídicas normalmente no son abundantes en los tallos, la degradación de carbohidratos se constituye probablemente en la única fuente de energía en la estacas para activar el proceso rizógeno, señalándose al almidón, cuando está presente, como la principal y posiblemente única fuente de energía para la iniciación y desarrollo del primordio radical (Puri y Khara, 1992; citados por Gutiérrez, 1995).

Cofactores de enraizamiento y su comportamiento sinérgico con la auxina

El hecho de que se inhiba el crecimiento y elongación de raíces utilizando altas concentraciones de auxinas, se debe a que estas, en altas concentraciones, estimulan la formación de etileno el cual, a su vez en la mayoría de las especies, retarda la elongación, tanto de raíces como de tallos, debido a que provoca la expansión radial de las células, aumentando el grosor de la pared celular, evitando la expansión paralela de las microfibrillas de celulosa (Strasburger, 1994).

Las auxinas también promueven el desarrollo de raíces adventicias en estacas de tallo, ya que muchas especies leñosas poseen primordios de raíces adventicias en sus tallos, los cuales permanecen latentes por algún tiempo a menos que se les estimule con auxinas exógenas. Estos primordios, con frecuencia se encuentran en los nudos o en los extremos

inferiores de las ramas que se localizan entre los nudos. En tallos que carecen de primordios radicales preformados, se formarán raíces adventicias a partir de divisiones celulares de la capa externa del floema (Salisbury, 1991).

Por otra parte, la eliminación de yemas y hojas jóvenes, ambas ricas en auxinas, inhibe el número de raíces laterales formadas, pero si se sustituyen auxinas, por estos órganos, con frecuencia se restituye la capacidad de la estaca de formar raíces. Si se aplica exógenamente auxinas, en altas concentraciones, se observa una inhibición en la elongación de raíces, pero una estimulación en la iniciación y desarrollo temprano de raíces (Salisbury, 1991).

Existen especies cuyas estacas son difíciles que formen raíces, debido a la presencia de inhibidores naturales asociados a compuestos fenólicos, como lo son la lignina, flavonoles, antocianidinas, etc. Lavando las estacas con agua aumenta la calidad y cantidad de las raíces que se producen, ya que, durante el lavado se liberan dichas sustancias (Hartmann y Kester, 1988).

Según Hartmann y Kester (1988), los principales factores que afectan la formación de raíces adventicias son:

1. Edad de la planta madre: tanto las estacas de tallo como en las de raíz tomadas de plantas jóvenes (en su fase de crecimiento juvenil), enraízan con mayor facilidad que aquellas tomadas de plantas más viejas (en fase de crecimiento adulto), debido a que con la edad se produce un incremento en la producción de inhibidores para la formación de raíces, lo que está asociado a un aumento del contenido de compuestos fenólicos
2. Condición fisiológica de la planta madre: el material más adecuado para enraizar estacas es aquel en donde hay mayor riqueza de carbohidratos, lo que a su vez puede asociarse a la firmeza del tallo. Aquellos que tienen una concentración baja de carbohidratos son suaves y

flexibles, mientras que los más ricos son firmes y rígidos. Un método para determinar el contenido de carbohidratos de reserva, presente en estacas, es la prueba del lugol.

En las plantas madres, el contenido bajo de nitrógeno y elevado de carbohidratos parece favorecer el enraizamiento, por lo que es más conveniente usar plantas madres que se hallen a pleno sol (garantiza la acumulación de carbohidratos) y escoger porciones basales de las ramas que tienen una relación nitrógeno /carbohidratos que favorece un buen enraizamiento.

3. Tipo de estaca: en especies leñosas, el tipo de estaca a escoger varía, desde ramas terminales de crecimiento en curso (suculentas), hasta grandes estacas de madera dura de varios años de edad. Lo que puede ser ideal para una especie no necesariamente lo es para otra. En general, han mostrado mejor respuesta las provenientes de ramas laterales y, al parecer, existe un efecto opuesto entre el crecimiento vegetativo y floral. Cuando las estacas se toman en cualquier época, durante el estado vegetativo, enraízan bien, pero tan pronto como la planta madre empieza a florecer, las estacas difícilmente formarán raíces.

Se sabe que entre la base y la zona apical de la rama existen marcadas diferencias en la composición química. A menudo se han observado variaciones en la producción de raíces entre las estacas tomadas de diferentes porciones de la rama, encontrándose, en muchos casos, que el mayor enraizamiento se obtiene de la porción basal de la misma. En tallos leñosos de un año o más de edad, en donde se han acumulado carbohidratos en la base de ramas y tal vez en donde posiblemente bajo la influencia de sustancias promotoras del enraizamiento procedentes de yemas y hojas, se han formado en las partes basales algunas iniciales de raíces, el mejor material para estacas es la porción basal. En plantas deciduas, de las cuales se usan ramas suculentas para hacer estacas de madera suave, su situación es diferente, ya que aquí no se encuentran acumulaciones de carbohidratos ni iniciales de raíces preformadas, por lo que las mejores respuestas al enraizamiento de las zonas apicales de las ramas, puede ser explicado por la posibilidad de que contengan

mayores concentraciones de sustancias endógenas promotoras del enraizamiento originadas de la yema terminal. Además en las estacas terminales existe menos diferenciación, habiendo mas células que pueden volverse meristemáticas.

4. Época de colecta: con frecuencia, los efectos de la temporada del año son reflejo de la respuesta de las estacas a las condiciones ambientales de las distintas épocas del año. Sin embargo, en algunos casos, la época del año puede tener enorme influencia en los resultados obtenidos y es clave para conseguir un enraizamiento exitoso.

En especies caducifolias se pueden tomar estacas durante la estación de receso o bien durante la temporada de crecimiento y se pueden preparar estacas con hojas de madera suave o semi dura, succulenta o parcialmente madura. Las especies siempreverdes de hoja angosta (coníferas) y de hoja ancha (latifoliadas) tienen, durante el año, uno o más periodos de crecimiento y se pueden obtener estacas en varias épocas relacionadas con dichos periodos. Con respecto a las especies siempreverdes de hoja ancha, éstas enraízan con más facilidad si las estacas se toman después que se ha completado un ciclo de crecimiento y la madera está parcialmente madura; dependiendo de la especie, esto ocurre de primavera a fines de otoño.

5. Condiciones sanitarias: la presencia de agentes patógenos no sólo reduce el porcentaje de enraizamiento, sino también el número de raíces que forman las estacas.

6. Condiciones ambientales: son importantes ya que, en las estacas con hojas es esencial que éstas mantengan su turgencia y que tengan un potencial de agua elevado. Aunque la presencia de hojas en las estacas es un fuerte estímulo para la formación de raíces, por la producción de carbohidratos y auxinas, la pérdida de agua que ocasionan pueden reducir el contenido de agua de las estacas a un nivel tan bajo, que provoque la muerte antes que se formen las raíces. Al respecto Maleike, citado por Awad (1993), opina que el humedecimiento de las hojas de las estacas tiene ciertas ventajas y desventajas.

La evaporación desde la superficie de las hojas enfría las estacas reduciendo la respiración. El agua puede ser absorbida a través de las hojas reduciendo la pérdida de esta desde su superficie, conservándola internamente. La temperatura debe variar de 21 a 27° C en el día y de 15° C en la noche, aunque ciertas especies enraízan a temperaturas más bajas. Las temperaturas elevadas tienden a estimular el desarrollo de las yemas con anticipación al desarrollo de las raíces y a aumentar la pérdida de agua por las hojas.

La intensidad y la duración de la luz deben ser lo suficientemente grandes para que se acumulen más carbohidratos de los que se emplean en la respiración.

7. Condiciones de enraizamiento: los medios de enraizamiento pueden ser muy variados. Estos, deben proporcionar una buena aireación, una alta capacidad de retención de agua y buen drenaje, además de mantener a la estaca, durante el período de enraizamiento, libre de bacterias y hongos perjudiciales.

En aquellas especies que enraízan con dificultad, puede ayudar el uso de enraizantes, no sólo por el porcentaje de estacas enraizadas, sino también por la calidad del sistema radical formado. El tratar estacas con sustancias reguladoras de crecimiento, de tipo auxina (hormonas), aumenta el porcentaje de estacas que forman raíces, acelera la iniciación de ellas, aumenta el número y calidad de las raíces producidas por estaca y aumenta la uniformidad del enraizamiento (Hatmann y Kester, 1988).

Ejemplos de propagación por estacas en especies leñosas

Estacas de Alerce (*Fitzroya cupressoides* (Mol.) Jhonston) y de Mañío macho (*Podocarpus nubigena*), sometidas a tratamientos con auxinas enraizaron tanto en vivero como en invernadero, con y sin la aplicación de un regulador de crecimiento. La aplicación de auxina (Rootone), mejoró el enraizamiento de las estacas en vivero de 65% a 85%, pero

sin superar a aquellas en invernadero donde, tanto las estacas tratadas, como las sin tratar enraizaron en un 100% (Cabello, 1990).

La cantidad y longitud de las raíces también varió con la condición ambiente y el tratamiento con auxinas. En invernadero las estacas desarrollaron un buen sistema radicular, compacto, con raíces largas y muy numerosas, con frecuentes raíces laterales; en vivero el sistema radicular fue menos compacto, de raíces más cortas y con menor presencia de raíces laterales. Lo mismo ocurrió con estacas tratadas con Rootone en invernadero, con respecto a las sin tratar bajo la misma condición ambiente (Cabello, 1990).

En el caso del Mañío macho (*Podocarpus nubigera*), sólo se produjo enraizamiento en invernadero, alcanzando un 45% en las estacas sin tratamiento y 75% en las estacas tratadas con “Rootone”. En vivero, aunque las estacas no enraizaron, el tratamiento con “Rootone” disminuyó notablemente el número de estacas muertas. En invernadero las estacas testigo presentaron, en general, un sistema radicular pobremente desarrollado con unas pocas raíces gruesas y quebradizas, de color amarillento y prácticamente sin raíces laterales. Las estacas tratadas con Rootone formaron un sistema radicular mejor desarrollado, más compacto y menos quebradizo, con un mayor número de raíces laterales, aunque de inferior calidad a las de estacas de alerce. Dadas las características del sistema radicular desarrollado, en ambos tratamientos, el trasplante en vivero fue más difícil ya que con frecuencia las raíces, por ser quebradizas, se dañaron (Cabello, 1990).

MATERIALES Y MÉTODO

Ubicación del ensayo:

El estudio fue parte del proyecto FONDEF D0111010 y se estableció en el invernadero del Departamento de Producción Animal de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, entre los meses de enero y junio de 2003.

Materiales

Los materiales usados en el estudio fueron:

- Estacas de ramillas de un año de *Morus alba*, colectadas en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.
- Mesones de 6 x 1 m y 30 cm. de altura.
- Sustrato de arena y tierra de hoja
- Ácido indol -butírico puro (auxina sintética).

Método

Para realizar este estudio se obtuvieron 192 estacas sin hojas de *Morus alba*, con 4 yemas de la zona solana del árbol y se eligió la porción media de ramillas de un año.

Las estacas colectadas se dividieron en 4 categorías, usando como criterio el largo de entrenudos y el grosor de las estacas (gruesas largas, gruesas cortas, delgadas largas y delgadas cortas), siendo gruesas aquellas que tengan un diámetro mayor a 1,5 cm y delgadas aquellas con un diámetro menor a 1,4 cm; por otra parte las estacas largas fueron aquellas mayores a 10 cm y las cortas menores a 10 cm (Figura 1).

Estas 4 categorías conformaron 4 grupos de 48 estacas cada uno; a las cuales se les aplicó soluciones de ácido indolbutírico puro: 0 ppm, 500 ppm, 1000 ppm, y 2000 ppm durante 30 minutos.



Figura 1. Tipos de estacas de *Morus alba* usadas en este estudio.

Una vez tratada las estacas con el promotor de crecimiento, cada grupo fue subdividido en dos grupos de 24 estacas y dispuestas de dos formas en el sustrato:

- El primer grupo fue enterrado, verticalmente, dejando 2 yemas sobre el sustrato y 2 yemas bajo el sustrato.
- El segundo grupo fue enterrado, verticalmente, dejando 1 yema sobre el sustrato y 3 yemas bajo el sustrato.

Los tratamientos consistieron en la combinación de concentraciones de AIB, posición de las estacas sobre el sustrato y tipo de estaca. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos aplicados en estacas de *Morus alba*.

Concentración de AIB	Posición sobre el sustrato	Tipos de estaca
0 ppm	Verticales con 1 yema sobre el sustrato	gruesa-larga gruesa corta delgada-larga delgada corta
	Verticales con 2 yemas sobre el sustrato	gruesa-larga gruesa corta delgada-larga delgada corta
500 ppm	Verticales con 1 yema sobre el sustrato	gruesa-larga gruesa corta delgada-larga delgada corta
	Verticales con 2 yemas sobre el sustrato	gruesa-larga gruesa corta delgada-larga delgada corta
1000 ppm	Verticales con 1 yema sobre el sustrato	gruesa-larga gruesa corta delgada-larga delgada corta
	Verticales con 2 yemas sobre el sustrato	gruesa-larga gruesa corta delgada-larga delgada corta
2000 ppm	Verticales con 1 yema sobre el sustrato	gruesa-larga gruesa corta delgada-larga delgada corta
	Verticales con 2 yemas sobre el sustrato	gruesa-larga gruesa corta delgada-larga delgada corta

Las estacas tratadas fueron colocadas en un sustrato de arena y tierra de hoja (1: 1); mezcla propuesta en un estudio realizado por Arancibia, E. (1993), en el cual se propone ésta mezcla como sustrato adecuado para la propagación de especies ornamentales. Las estacas se mantuvieron en invernadero durante, aproximadamente 5 meses (Figura 2).



Figura 2. Disposición de las estacas sobre el sustrato

En el Cuadro 2, se presentan algunas propiedades fisico-químicas del sustrato utilizado en este estudio.

Cuadro 2. Propiedades físico-químicas del sustrato.

Sustrato	Densidad Aparente (Da)	% Retención de humedad	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)
Tierra de hoja	0,88	11,61	40	20 – 40	1000
Arena	1,6	31,7	–	–	–

FUENTE: Arancibia, E. (1993).

Cada 3 días se registró el comportamiento de las yemas, que quedaron sobre la superficie en cada estaca y en el momento en que se observó un activo crecimiento, es decir, ruptura de las yemas vegetativas e inicio de la elongación del brote, se evaluó el enraizamiento.

Variables evaluadas

Para la calidad y magnitud del enraizamiento se utilizaron los siguientes parámetros:

Presencia de callo: 1 Ausencia de callo
2 Presencia de callo

Inducción de raíces: 1 Presencia de raíces
2 Sin raíces

Viabilidad de raíces: 1 Viables: raíces principales con ramificaciones
2 No viables: raíces principales sin ramificaciones

Largo de raíces: I- < 3 cm: cortas
II- 3 – 10 cm: medianas
III- > 10 cm: largas

Abundancia de ramificaciones por centímetro de largo de raíz (raíces viables):

- a- < 3 ramificaciones: escasas
- b- 4 – 8 ramificaciones: medias
- c- > 8 ramificaciones: abundantes

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar, con estructura factorial de 4 x 2 x 4 (4 concentraciones de hormonas, 2 grupos de estacas con distinto número de yemas bajo el sustrato, 4 tipos de estacas), incluyendo 6 repeticiones por tratamiento, siendo la unidad experimental de una estaca.

Análisis estadístico

Para los análisis estadísticos de inducción de raíces, formación de callo, viabilidad de raíces, largo de raíces y abundancia de raíces, se usó la prueba estadística Chi-cuadrado, a fin de determinar diferencias globales entre los distintos factores; y cuando esta prueba resultó significativa se aplicó la prueba t, para determinar diferencias entre los distintos niveles de los factores en estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I.- Formación de callo

Al evaluar la formación de callo en estacas de *Morus alba*, se verificó que de un total de 192 estacas sometidas a los distintos tratamientos, sólo 53 estacas formaron callo.

I.1.- Efecto del AIB

Cuando se analizó el efecto del AIB, independiente de la posición sobre el sustrato y del tipo de estaca, se observó que *Morus alba* en condiciones naturales formó callo y que al ser sometida a diferentes concentraciones de AIB no presentó efectos positivos; por el contrario, el porcentaje de estacas con callo disminuyó, no observándose diferencias significativas entre las aplicaciones de AIB (Cuadro 3). De esto se podría deducir que el AIB, en estacas de *Morus alba*, tendría un efecto inhibitorio de la formación de callo.

Esta respuesta es contraria a los resultados obtenidos por Puig, (2003) en donde la mayor respuesta a la formación de callo en estacas de cerezo Santa Lucía (*Prunus mahaleb* L.), se obtuvo con aplicaciones de 1000 ppm de AIB y cuando utilizó dosis de 2000 ppm se observó un efecto negativo en la formación de callo. Sin embargo, en otro estudio realizado con estacas de cerezo dulce (*Prunus avium* L. cv. Bing), se verificó que sin aplicaciones de AIB se obtenían mayores porcentajes de estacas con callo y que si se aplicaban dosis de 1000 y 2000 ppm de AIB, el porcentaje de estacas con callo disminuía (Puig, M., 2003).

Cuadro 3. Efecto de distintas concentraciones de AIB en la formación de callo en estacas de *Morus alba*.

Concentración de AIB	Porcentaje de estacas que Formaron callo (%)	Número de estacas con callo
0 ppm	50.0 A(*)	24
500 ppm	16.6 B	8
1000 ppm	22.9 B	11
2000 ppm	20.8 B	10
Total de estaca con callo		53

(*) Letras distintas indican que existen diferencias significativas entre las concentraciones de AIB, según el método estadístico Prueba t, con un $P < 0,05$.

Este mayor porcentaje de estacas con callo formado en el grupo sin aplicación de AIB, estaría relacionado con el balance hormonal endógeno de citocinina- auxina favorable para la formación de callo, ya que una mayor concentración de citocinina, es decir, una alta relación citocinina-auxina, favorecería la formación de una masa de células indiferenciadas que darán origen al callo; en la literatura se plantea que si se disminuye esta relación agregando exógenamente auxinas, se favorece la división y diferenciación de células, lo que dará origen a la formación de raíces adventicias, en desmedro de la formación de callo. (Salisbury, 1991).

I.2.- Efecto de la posición sobre el sustrato

Al evaluar el efecto de este factor, independiente del tratamiento auxínico y del tipo de estaca, se esperaría una mayor formación de callo en el grupo de estacas que quedaron con una yema sobre el sustrato (tres yemas bajo el sustrato) que con dos yemas, ya que como señala Hartmann y Kester, (1997), por un lado, las hojas y yemas son grandes productores de auxinas, las que se transportan en forma basipétala a la base de la estaca, por otro, la luz por su efecto degradatorio sobre las auxinas endógenas, pudo haber afectado dicha concentración en un mayor grado a las estacas que quedaron con dos yemas sobre el sustrato (dos yemas bajo el sustrato); sin embargo, no se observaron diferencias entre las estacas que quedaron con una y dos yemas sobre el sustrato (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la posición sobre el sustrato en la formación de callo en estacas de *Morus alba*.

Posición sobre el sustrato	Porcentaje de estacas que Formaron callo (%)	Número de estacas con callo
Vertical 2	28.1 A (*)	27
Vertical 3	27.1 A	26
Total de estaca con callo		53

(*) Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre el número de yemas bajo el sustrato, según el método estadístico Prueba t, con un $P < 0,05$.

De estos resultados se podría deducir que la degradación de las auxinas contenidas principalmente en las yemas, por la acción de la luz, no habría sido lo suficientemente elevada como para alterar la relación citocinina - auxina necesaria para la formación de callo (Azcon Bieto y Talon, 1993), por lo que el número de yemas bajo el sustrato no influyó en la formación de callo. Sin embargo, no es posible establecer con mayor claridad, bajo estas condiciones, si la ausencia de diferencias estaría dado sólo por este factor, por lo que será necesario analizar su interacción con las aplicaciones de AIB.

I.3.- Efecto del tipo de estaca

Los resultados obtenidos con diversos tipos de estacas de *Morus alba* indican que las estacas delgadas largas y las gruesas, independiente de su longitud, serían las más adecuadas para formar callo; aunque no se observaron diferencias entre estos tipos de estacas (Cuadro 5). Es posible plantear que la mejor respuesta de estos grupos de estacas estaría dado, posiblemente por una mayor acumulación de carbohidratos de reserva. Al respecto, Hartmann y Kester, (1997) plantean que el grosor y firmeza de los tejidos en las estacas, está directamente relacionado con el contenido endógeno de carbohidratos de reserva y que estos no tienen un efecto regulador en la formación de callo, pero sí son importantes para aportar energía, construir moléculas complejas y elementos estructurales; lo que explicaría esta menor formación de callo en el grupo de las estacas delgadas cortas.

Cuadro 5. Efecto del tipo de estaca de *Morus alba*, en la formación de callo

Tipo de estaca	Porcentaje de estacas que Formaron callo (%)	Número de estacas que formaron callo
Delgada corta	10.4 A (*)	5
Delgada larga	31.3 B	15
Gruesa larga	35.4 B	17
Gruesa corta	33.3 B	16
Total de estacas con callo		53

(*) Letras distintas indican que existen diferencias significativas entre los tipos de estaca, según el método estadístico Prueba t, con un $P < 0,05$.

I.4.- Efecto conjunto del AIB y Tipo de estaca

Se comprobó (Cuadro 6) que el grupo de las estacas delgadas cortas presentó una menor probabilidad de formar callo cuando fueron sometidas a diferentes aplicaciones de AIB; por otra parte, cuando las estacas delgadas largas y gruesas largas y cortas permanecieron sin un tratamiento hormonal, se formó callo (Figura 3), en un mayor porcentaje de estacas no observándose diferencias entre éstas. Sin embargo, se ratificó que cuando éstas eran tratadas con las diferentes concentraciones de AIB, el porcentaje de estacas con callo tendía a disminuir. Esto fue más notorio en las estacas gruesas cortas y delgadas largas sometidas a 2000 y 500 ppm, respectivamente.

Esta respuesta permite deducir que las estacas provenientes de la zona media y basal de ramillas de un año, forman callo naturalmente y en un mayor porcentaje, sin embargo, si se les aplica diferentes concentraciones de AIB la probabilidad de formar callo disminuye. Esto se relacionaría con un mayor contenido de carbohidratos de reserva lo que les permitiría, a estas estacas contar con una mayor cantidad de energía para las divisiones celulares en el parénquima cortical o medular (Hartmann y Kester, 1997); no obstante, al someterlas a un tratamiento con el regulador de crecimiento, se habría producido un desbalance en la relación citocinina-auxina, disminuyendo así la probabilidad de formar callo en las estacas.



Figura 3. Formación de callo en una estaca Delgada Larga, sin aplicación del regulador de crecimiento.

Cuadro 6. Efecto de la concentración de AIB en el porcentaje (%) de callo formado, en cuatro tipos de estaca de *Morus alba*.

Concentración de AIB	Tipos de estaca (%)			
	Delgada Corta	Delgada Larga	Gruesa Larga	Gruesa corta
0 ppm	6.3 ($\pm 0,035$) a (*)	16.6 ($\pm 0,054$) a	12.5 ($\pm 0,048$) a	14.6 ($\pm 0,051$) a
500 ppm	0 (0,0) (**) a	2.1 ($\pm 0,021$) b	4.2 ($\pm 0,029$) a	10.4 ($\pm 0,044$) ab
1000 ppm	0 (0,0) a	4.2 ($\pm 0,029$) ab	10.4 ($\pm 0,044$) a	8.3 ($\pm 0,039$) ab
2000 ppm	4.2 ($\pm 0,029$) a	8.3 ($\pm 0,039$) ab	8.3 ($\pm 0,039$) a	0 (0,0) b

(*) Letras distintas indican que existen diferencias significativas entre los tratamientos, según el método estadístico Prueba t, con un $P < 0,05$. Letras mayúsculas, en una misma fila indican diferencias entre los tipos de estaca, en cada concentración de AIB. Letras minúsculas, en cada columna indican diferencias entre las concentraciones de AIB, en cada tipo de estaca.

(**) Número entre paréntesis, al lado de cada porcentaje, indica su error estándar

I.5.- Efecto conjunto del AIB y posición sobre el sustrato

Los resultados que se muestran en el Cuadro 7, permiten deducir que dentro de cada concentración de AIB, el número de yemas bajo el sustrato no produjo diferencias en el porcentaje de estacas con callo formado.

Cuadro 7. Efecto de la concentración de AIB y posición sobre el sustrato de estacas de *Morus alba*, en el desarrollo de callo.

Concentración de AIB	Posición sobre el sustrato	Porcentaje de estacas con callo (%)	Error estándar	Número de estacas con callo
0 ppm	Vertical 2	54.2 A (*)	±0.102	13
	Vertical 3	45.8 A	±0.102	11
500 ppm	Vertical 2	8.3 A	±0.056	2
	Vertical 3	25.0 A	±0.088	6
1000 ppm	Vertical 2	25.0 A	±0.088	6
	Vertical 3	20.8 A	±0.083	5
2000 ppm	Vertical 2	25.0 A	±0.088	6
	Vertical 3	16.6 A	±0.076	4
Total de estaca con callo				53

(*)Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las posiciones sobre el sustrato, en cada concentración de AIB, según el método estadístico Prueba "t" con un $P < 0,05$.

En el Cuadro 8 se observa que, tanto en las estacas colocadas con dos yemas bajo el sustrato, como en las colocadas con tres yemas bajo el sustrato, los porcentajes de estacas con callo fueron mayores cuando no se les aplicó el tratamiento con auxinas, pero cuando se les sometió al regulador de crecimiento el porcentaje de estacas con callo disminuyó. Por lo que se podría deducir que *Morus alba* naturalmente forma callo, independientemente del número de yemas bajo el sustrato que tengan las estacas.

Cuadro 8. Efecto de la posición sobre el sustrato y de la concentración de AIB aplicadas a estacas de *Morus alba*, en el desarrollo de callo.

Posición sobre el sustrato	Concentración de AIB	Porcentaje de estacas con callo (%)	Error estándar	Número de estacas que formaron callo
Vertical 2	0 ppm	54.2 A (*)	±0.102	13
	500 ppm	8.3 B	±0.056	2
	1000 ppm	25.0 AB	±0.088	6
	2000 ppm	25.0 AB	±0.088	6
Vertical 3	0 ppm	45.8 A	±0.102	11
	500 ppm	25.0 A	±0.088	6
	1000 ppm	20.8 A	±0.083	5
	2000 ppm	16.6 A	±0.076	4
Total de estaca con callo				53

(*) Letras distintas indica que existen diferencias significativas dentro de cada posición de las estacas sobre el sustrato, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$

Aparentemente, el menor número de estacas con callo encontrado en los grupos sometidos a tratamientos hormonales, de debió al desbalance en la relación citocinina-auxina producidas por las aplicaciones de las diferentes concentraciones de AIB y no al efecto en el número de yemas bajo el sustrato, por lo que se podría deducir que la degradación del contenido de las auxinas en las yemas de las estacas, por efecto de la luz, no fue suficiente como para producir diferencias en la formación de callos.

Ya que como se mencionó anteriormente, el AIB habría inhibido la formación de callo en las estacas, debido posiblemente a que este al aumentar la concentración de auxina en la base de la estaca produciría un desbalance en la relación citocinina – auxina desfavorable para la formación de callo. Al respecto, Salisbury (1991), afirma que una mayor concentración de citocinina endógena, es decir, una alta relación citocinina – auxina favorece la formación de callo y si esta relación disminuye por aplicaciones endógenas de auxinas se favorece la formación de raíces adventicias en desmedro de la formación de callo, que es lo que se buscó en este estudio.

II.- Inducción de raíces

Al evaluar la formación de raíces adventicias a partir de estacas de tallo, se verificó que de un total de 192 estacas sometidas a los distintos tratamientos, solamente un 28,1% de las estacas indujeron raíces.

Este bajo porcentaje de estacas inducidas estaría asociado a otros factores no considerados en este estudio, por lo que será necesario, para obtener mejores resultados, evaluar en estudios posteriores, factores tales como diferentes tipos de sustratos, época de colecta de las estacas, aplicaciones más concentradas de AIB, entre otras.

II.1.- Efecto del AIB

Al analizar el efecto de diferentes concentraciones de AIB, independiente del tipo de estaca y posición sobre el sustrato, se verificó que las distintas concentraciones de AIB estimularon la formación de raíces adventicias en estacas de *Morus alba*, sin embargo, no se observaron diferencias entre dichas aplicaciones. Por otra parte, se comprobó que sin tratamientos auxínicos la probabilidad de inducir raíces en estacas de *Morus alba* sería muy baja (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto de la aplicación de AIB, en el porcentaje de raíces inducidas en estacas de *Morus alba*.

Concentración de AIB	Porcentaje de estacas inducidas (%)	Total de estacas inducidas
0 ppm	6.25 A (*)	3
500 ppm	35.4 B	17
1000 ppm	37.5 B	18
2000 ppm	33.3 B	16
Total	54	54

(*) Letras distintas indican que existen diferencias significativas entre las concentraciones de AIB, según el método estadístico, prueba "t" $P < 0,05$.

Estas respuestas coinciden con los resultados obtenidos por Bobadilla (1998), al aplicar diferentes dosis de AIB a estacas de avellano (*Gevuina avellana* Mol.) y en el cual no se encontraron diferencias entre concentraciones de 500, 1000 y 2000 ppm de AIB, sin embargo, existió una mayor tendencia a inducir raíces con aplicaciones de 1000 ppm de AIB y al igual que en este estudio, sin aplicaciones de AIB se obtuvo un bajo porcentaje de enraizamiento. En otro estudio realizado por Puig (2003), con estacas de cerezo dulce (*Prunus avium* L. Cv. Bing) no existió respuesta de las estacas a la inducción de raíces, cuando fueron tratadas con aplicaciones de diferentes dosis de AIB.

La mayor probabilidad de formar raíces adventicias, en las estacas que fueron sometidas a diferentes concentraciones de AIB, estaría relacionado con el efecto estimulador de diferenciación de raíces de las auxinas (Azcon Bieto, 1993). Sin embargo, esta probabilidad comparada con el total de estacas inducidas por tratamiento es baja, ya que del total de estacas tratadas con las distintas concentraciones de AIB (48 estacas), sólo se logró un promedio de 35% de inducción de raíces; hecho que podría estar asociado, entre otros factores a inhibidores endógenos de enraizamiento tales como compuestos fenólicos (lignina, flavonoles, antocianidinas) (Hartman y Kester 1997).

El hecho que para inducir raíces en estacas de *Morus alba* se requiera de tratamientos auxínicos puede radicar en que los factores que naturalmente afectan el enraizamiento de estacas son muy numerosos lo que dificulta este proceso. Entre ellos influyen características fisiológicas, morfológicas y genéticas, junto a condiciones ambientales (Hartmann y Kester, 1997). Pott y Potts, citados por Sandoval (1997), en este mismo sentido, señalan que la concentración efectiva para la rizogénesis, de un regulador de crecimiento, depende principalmente de la especie, estación del año y condiciones de crecimiento de la planta madre, pero en última instancia está determinada genéticamente.

II.2.- Efecto de la posición sobre el sustrato

De los resultados obtenidos (Cuadro 10) se deduce que *Morus alba* forma raíces adventicias independientemente del número de yemas bajo el sustrato y que no existen diferencias entre estos dos grupos.

Cuadro 10. Efecto de la posición sobre el sustrato en la inducción de raíces en estacas de *Morus alba*.

Posición sobre el sustrato	Porcentaje de estacas inducidas (%)	Total de estacas inducidas
Vertical 2	28.1 A (*)	27
Vertical 3	28.1 A	27
Total de estacas inducidas		54

(*) Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las posiciones sobre el sustrato, según el método estadístico Prueba t, con un $P < 0,05$.

Es sabido que las yemas y hojas son productoras de auxinas, sin embargo, la luz solar tendría un efecto en la descomposición de dichas auxinas endógenas (Hartmann y Kester, 1988), es por esto que en este estudio se podría haber obtenido una disminución en el porcentaje de estacas con raíces inducidas en el grupo que fue colocado con dos yemas sobre el sustrato debido a la mayor exposición de estas a la luz solar. Sin embargo, no se observaron diferencias entre los grupos de estacas colocadas con dos y con tres yemas bajo el sustrato, debido posiblemente a que dicha descomposición de las auxinas por efecto de la luz, no fue suficientemente elevada; posiblemente debido a que, como señala Hartmann y Kester, (1988), el AIB es más fotoestable y presenta una mayor resistencia a la descomposición bacteriana y a la destrucción por efecto de la luz, que el ácido indolacético (IAA), una forma natural sensible a la luz solar.

II.3.- Efecto del tipo de estacas

Independiente de la concentración de AIB y de la posición de estas sobre el sustrato, los resultados muestran que las estacas delgadas cortas presentaron un menor porcentaje de raíces inducidas, además no se apreciaron diferencias entre los tipos de estacas delgadas largas, gruesas largas y gruesas cortas, sin embargo, aparentemente existiría una mayor probabilidad de inducir raíces adventicias en las estacas gruesas, especialmente en las de mayor longitud, dado el mayor valor obtenido (Cuadro 11).

Cuadro 11. Efecto del tipo de estaca de *Morus alba* en la inducción de raíces adventicias.

Tipo de estaca	Porcentaje de estacas inducidas (%)	Total de estacas inducidas
Delgada corta	4.2 A (*)	2
Delgada larga	27.1 B	13
Gruesa larga	43.8 B	21
Gruesa corta	37.5 B	18
Total de estacas inducidas		54

(*) Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre los tipos de estaca, según el método estadístico Prueba "t" con un $P < 0,05$.

Existe una relación entre la acumulación de carbohidratos de reserva y el grosor y textura de los tallos. Tallos pobres en carbohidratos son delgados, suaves y flexibles; en tanto los tallos gruesos y rígidos son ricos en carbohidratos (Hartmann y Kester 1997).

Esta mayor acumulación de carbohidratos de reserva en las estacas gruesas tendría relación con la ubicación de estas estacas en la rama; ya que como señala Hartmann y Kester (1988), estacas más gruesas provenientes de la porción basal de las ramas, acumulan un mayor contenido de carbohidratos de reserva y posiblemente bajo la influencia de sustancias promotoras del enraizamiento, procedentes de yemas y hojas; presenten una mayor probabilidad de inducir raíces. En el mismo sentido Faulds (1986) señala que el

diámetro inicial de las estacas puede determinar el número de raíces que se van a formar, considerando que mientras mayor sea el diámetro, mayor será la inducción de raíces.

Si bien el contenido de carbohidratos de reserva en las plantas tiene una directa relación con el enraizamiento, ya que aportan energía para los procesos de división y elongación celular, construcción de moléculas complejas y elementos estructurales, estos no estimulan la formación de raíces por si solos, además para que pueda efectuarse la iniciación de raíces adventicias es importante que exista nitrógeno, ya que es necesario para la síntesis de ácidos nucleicos y de proteínas. (Hartmann y Kester, 1997).

Ramas con entrenudos largos, se asocian a un vigor excesivo y a un alto contenido de nitrógeno; en el caso de los carbohidratos de reserva, un contenido moderado de este en los tejidos es mejor para lograr un enraizamiento óptimo. Los tejidos con un alto contenido de nitrógeno casi siempre tienen un crecimiento abundante, suave y succulento con bajas reservas de carbohidratos. Esas ramas de crecimiento rápido también pueden ser pobres en otros componentes necesarios para el enraizamiento (Hartmann y Kester, 1988).

Según Hartmann y Kester (1997), cuando en las estacas existe un mayor contenido de carbohidratos y un menor contenido de nitrógeno (alta relación carbono – nitrógeno) hay una mayor formación de raíces adventicias.

Por lo tanto, las estacas gruesas largas o cortas tendrían una relación carbono–nitrógeno alta favorable para la inducción de raíces, mientras que las delgadas largas, aunque tendrían un menor contenido de carbohidratos de reserva, dada su longitud, estos serían suficientes como para formar raíces; en tanto en las delgadas cortas la relación carbono nitrógeno sería más bien baja, lo que explicaría su menor formación.

II.5.- Efecto conjunto del AIB y tipo de estaca

De un total de 48 estacas evaluadas en cada tratamiento con AIB, se verificó que las estacas delgadas cortas fueron las que presentaron una menor probabilidad de inducir raíces en todas las aplicaciones de reguladores de crecimiento a que fueron sometidas, a diferencia de las delgadas largas, gruesas largas y gruesas cortas que presentaron una mayor respuesta. Cabe destacar que las estacas gruesas presentaron una mayor tendencia a inducir raíces en todos los tratamientos con AIB (Cuadro 12).

Al analizar el efecto combinado de AIB y cuatro tipos de estacas en la inducción de raíces adventicias de *Morus alba*, se verificó que las estacas delgadas cortas, provenientes de la zona apical de ramillas de un año, presentaron la menor probabilidad de inducir raíces en todas las concentraciones con AIB, a diferencia de las estacas delgadas largas, gruesas largas y gruesas cortas, que presentaron un mayor porcentaje de estacas con raíces inducidas.

De estos resultados se podría deducir que el material más apropiado para propagar estacas de *Morus alba*, sería aquellas provenientes de la porción media y basal de ramillas de un año; correspondiendo a la zona basal, estacas gruesas largas y cortas y de la zona media, estacas delgadas largas.

Por otro lado, dada la gran variabilidad de las respuestas obtenidas, se hace difícil establecer con claridad cual concentración de AIB fue la más adecuada para inducir raíces en estos tipos de estacas debido, posiblemente a que como señala Gutiérrez (1995), el efecto de un regulador de crecimiento va a depender tanto de la especie, como del grado de madurez del árbol o de la zona desde donde se extrae la estaca. Sin embargo, aparentemente para propagar estacas de la zona media de ramillas de un año, lo más recomendable sería aplicar dosis más concentradas de AIB, es decir 1000 o 2000 ppm; y sólo bastaría con aplicar dosis de 500 ppm, para inducir raíces en estacas colectadas de la

zona basal, ya que con las aplicaciones más concentradas se obtendrían similares respuestas.

Cuadro 12. Efecto de la Concentración de AIB en el porcentaje de raíces adventicias inducidas, en cuatro tipos de estacas de *Morus alba*

Concentración de AIB	Tipos de estaca (%)			
	Delgada Corta	Delgada Larga	Gruesa Larga	Gruesa corta
0 ppm	0.0 (0.0) ^{A (*)} a (*)	0.0 (0.0) (**) a	2.1 (±0.021) ^A a	4.2 (±0.029) ^A a
500 ppm	0.0 (0.0) ^A a	6.3 (±0.035) ^{AB} a	12.5 (±0.048) ^B ab	16.7 (±0.054) ^B a
1000 ppm	4.2 (±0.029) ^A a	10.4 (±0.044) ^A a	16.7 (±0.054) ^A b	6.3 (±0.035) ^A a
2000 ppm	0.0 (0.0) ^A a	10.4 (±0.044) ^{AB} a	12.5 (±0.048) ^B ab	10.4 (±0.044) ^{AB} a

(*) Letras distintas indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos, según el método estadístico Prueba t, con un P<0,05. Letras mayúsculas, en una misma fila indican diferencias entre los tipos de estaca, en cada concentración de AIB. Letras minúsculas, en cada columna indican diferencias entre las concentraciones de AIB en cada tipo de estaca.

(**) Número entre paréntesis, al lado de cada porcentaje, indica su error estándar

Cuando las estacas se mantuvieron, sin tratamiento hormonal, el porcentaje de raíces inducidas fue bajo y sólo se presentó en los tipos de estacas gruesas largas y cortas (Cuadro 12), por lo que se podría deducir que *Morus alba*, requiere de tratamientos con reguladores de crecimiento para inducir raíces; a diferencia de la formación de callo, en donde aplicaciones exógenas de auxinas disminuye el porcentaje de estacas con callo. Al respecto Beyl *et al* (1995), señalan que no existe relación entre la cantidad de estacas que

forman callos y la cantidad de estacas que forman raíces, ya que en la mayoría de las plantas, la formación de callo y raíces son procesos independientes entre si y, cuando ocurren simultáneamente es debido a su dependencia de condiciones internas y ambientales.

I.4.- Efecto conjunto del AIB y posición sobre el sustrato

Al analizar el efecto combinado de la aplicación de AIB y de la posición de éstas sobre el sustrato, se encontró que las estacas, independiente de su tipo, inducían raíces, con todas las concentraciones de AIB, sin encontrar diferencias entre concentraciones y ni entre las posiciones sobre el sustrato (Cuadro 13). Sin embargo, cuando permanecieron sin regulador de crecimiento, el porcentaje de estacas inducidas fue mínimo, tanto en los grupos con dos yemas bajo el sustrato como el que permaneció con tres yemas bajo el sustrato (Cuadro 14).

Cuadro 13. Efecto de la concentración de AIB y posición sobre el sustrato en estacas de *Morus alba*, en el porcentaje de raíces inducidas.

Concentración de AIB	Posición sobre el sustrato	Porcentaje de estacas inducidas (%)	Error estándar	Número de estacas que indujeron raíces
0 ppm	Vertical 2	12.5 A (*)	±0.068	3
	Vertical 3	0.0 A	0.0	0
500 ppm	Vertical 2	33.3 A	±0.096	8
	Vertical 3	37.5 A	±0.098	9
1000 ppm	Vertical 2	41.7 A	±0.101	10
	Vertical 3	33.3 A	±0.096	8
2000 ppm	Vertical 2	25.0 A	±0.088	6
	Vertical 3	41.7 A	±0.101	10

(*)Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las posiciones sobre el sustrato, dentro de cada concentración de AIB, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$ (los porcentajes fueron calculados sobre un total de 24 estacas, es decir, sobre el total de estacas tratadas en cada concentración de AIB).

Esta respuesta indicaría que la degradación de las auxinas contenidas tanto en las yemas como las aplicadas exógenamente, por efecto de la luz, no fue lo suficientemente elevada como para producir diferencias en el porcentaje de raíces inducidas en los tratamientos. Esto tendría relación con la fotoestabilidad del AIB; ya que muchas de las auxinas naturales, como el ácido indolacético (IAA), que es una hormona natural, son sensibles a la luz solar. Esta puede destruir una concentración de 10 ppm de IAA en unos 15 minutos; sin embargo, el AIB es más fotoestable, es decir, presenta una mayor resistencia a la descomposición bacteriana y a la destrucción por efectos de la luz, por lo que tendría más probabilidades de conservar su efectividad por más tiempo (Hartmann y Kester, 1988).

Cuadro 14. Efecto la posición sobre el sustrato y aplicación de AIB en estacas de *Morus alba*, en el porcentaje de raíces inducidas.

Posición sobre el sustrato	Concentración de AIB	Porcentaje de estacas inducidas (%)	Error estándar	Número de estacas que indujeron raíces
Vertical 2	0 ppm	12.5 A (*)	±0.068	3
	500 ppm	33.3 A	±0.096	8
	1000 ppm	41.7 A	±0.101	10
	2000 ppm	25.0 A	±0.088	6
Vertical 3	0 ppm	0.0 A	0.0	0
	500 ppm	37.5 B	±0.098	9
	1000 ppm	33.3 B	±0.096	8
	2000 ppm	41.7 B	±0.101	10

(*)Letras iguales indican que no existen diferencias significativas dentro de cada posición sobre el sustrato, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$. (los porcentajes fueron calculados sobre un total de 24 estacas, es decir, del total de estacas tratadas en cada concentración de AIB y posición sobre el sustrato).

III.- Largo de raíces

Los análisis en este parámetro fueron hechos en base a los resultados de los grupos que presentaron un mayor porcentaje de estacas inducidas en los distintos tratamientos; por lo tanto de un total de 54 estacas inducidas, sólo 49 fueron consideradas en los análisis.

Cabe destacar que en las estacas sin tratamiento hormonal, solo 3 presentaron raíces y de estas, dos fueron de tipo mediana y una corta; por otra parte, solo dos estacas delgadas cortas indujeron raíces las cuales fueron del tipo cortas.

III.1.- Efecto del AIB

Al evaluar el efecto del AIB en la longitud de raíces, se verificó que el mayor porcentaje de raíces formadas fueron cortas, seguidas de raíces medianas y sólo un bajo porcentaje fue larga; no observándose diferencias entre las concentraciones de AIB, para cada categoría de longitud de raíces (Figura 4).

Si bien el AIB fue necesario para inducir raíces adventicias, este no tuvo un efecto en el crecimiento longitudinal. Al respecto Salisbury (1991), señala que el crecimiento de las raíces puede ser controlado por factores hormonales, entre otros, por las auxinas que, si bien inducen la formación de raíces adventicias, también pueden inhibir el crecimiento de estas. Esta inhibición se debe a que las auxinas estimulan la producción de etileno, en especial cuando se agregan cantidades relativamente elevadas. En este mismo sentido Azcon Bieto y Talon (1993), afirman que el etileno produce una reducción de las divisiones celulares y una alteración del desarrollo en las zonas de elongación, esto último debido a que el depósito de las microfibrillas de celulosa, que conforman los microtúbulos, se realiza en forma transversal al eje de crecimiento y que cuando existe producción de etileno, este produce un cambio en la orientación de estas estructuras, depositándose

longitudinalmente al eje de crecimiento, lo que origina un incremento del crecimiento radial de la célula y por consiguiente una disminución del crecimiento longitudinal.

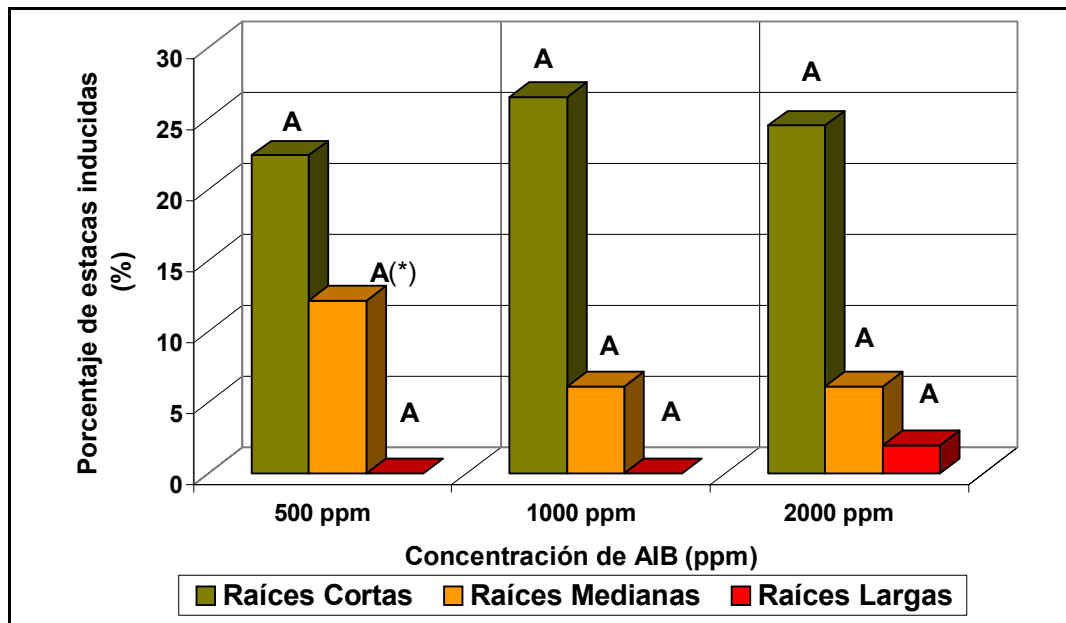


Figura 4. Efecto de distintas concentraciones de AIB en la longitud de raíces de estacas de *Morus alba*.

(*) Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las concentraciones de AIB, para cada tipo de raíz, según el método estadístico prueba "t" $P < 0,05$.

Similares resultados obtuvo Puig (2003), el cual enraizó estacas de cerezo Santa Lucía (*Prunus mahaleb*) y no observó diferencias en la longitud de las raíces inducidas entre las distintas aplicaciones del regulador de crecimiento. Por otra parte, Beyl (1995) y Poblete (1997), a diferencia de este estudio, ellos trabajaron con distintas especies y observaron que aquellas estacas que presentaron los más altos porcentajes de enraizamiento fueron los mismos que presentaron un mayor número y largo de raíces.

II.2.- Efecto de la posición sobre el sustrato

La mayor parte de las estacas colocadas, ya sea con dos o tres yemas bajo el sustrato, formaron raíces cortas, seguidas de estacas con raíces medianas y solamente un muy bajo porcentaje indujo raíces largas; no observándose diferencias entre estos dos grupos para cada categoría de longitud de raíces (Cuadro 15).

Cuadro 15. Efecto la posición sobre el sustrato en la longitud de raíces inducidas en estacas de *Morus alba*

Posición sobre el sustrato	Porcentaje de estacas con			Total de estacas inducidas
	Raíces Cortas	Raíces Medianas	Raíces Largas	
Vertical 2	36.7 A (*)	10.2 A	0.0 A	23
Vertical 3	36.7 A	14.3 A	2.01 A	26
Total estacas inducidas	36	12	1	49

(*) Letras iguales, en cada columna indican que no existen diferencias significativas entre las posiciones sobre el sustrato, según el método estadístico Prueba t, con un $P < 0,05$.

Los resultados indican que no hubo un efecto de la posición de las estacas sobre el sustrato, tanto en la inducción de raíces como en su longitud; a pesar de que como señala Hartmann y Kester (1988), la presencia de yemas y hojas estimularía la formación de raíces adventicias, por el hecho de ser centros de producción de auxinas necesarios para la inducción de raíces y además de existir cofactores de enraizamiento; es por esto que esta respuesta podría estar relacionada con el tipo y características del sustrato utilizado.

Al respecto, Salisbury (1991) señala que el crecimiento y morfología de las raíces sigue un control genético, pero también influye su entorno edáfico; en este mismo sentido Von Guttenberg (1968), citado por Fitter (1996), señala que existen varios factores asociados al suelo como la humedad, que modifican el área de la superficie de la raíz, su sobrevivencia y desarrollo; ya que al parecer tiene un efecto en el alargamiento de las raíces, pero no en su diferenciación; además Connack, *et al* citados por Fitter, A (1996),

afirma que varios factores como el nivel de oxígeno y textura del suelo, concentración de dióxido de carbono, luz y reguladores de crecimiento, también parecen ser importantes. Esto tiene directa relación con el medio en el cual se enraízan las estacas, ya que como señala Hartmann y Kester (1997), el sustrato puede afectar el tipo de sistema radical, así estacas de algunas especies forman raíces largas, no ramificadas, gruesas y quebradizas, cuando se hacen enraizar en arena, pero cuando lo hacen en arena y musgo turboso o perlita y musgo turboso, desarrollan raíces más cortas, ramificadas y flexibles.

En el presente estudio, las raíces se caracterizaron por ser principalmente cortas, poco ramificadas y levemente quebradizas, sin embargo, al analizar este factor, no es posible determinar si esta respuesta se debió solo al tipo de sustrato utilizado o bien a su efecto conjunto con otro factor en estudio, como lo fue la concentración de AIB.

III.3.- Efecto del Tipo de estaca

Al analizar este factor se obtuvo que de las 49 estacas evaluadas un mayor porcentaje indujo raíces cortas, no encontrándose diferencias entre los distintos tipos de estacas, por otra parte sólo las estacas gruesas formaron raíces medianas. Cabe destacar que de estas sólo una estaca gruesa larga formó raíces largas (Cuadro 16).

Es posible que esta formación de raíces de mayor longitud en las estacas gruesas, tenga relación con su mayor contenido de carbohidratos de reserva; ya que como señala Breen y Muraoka (1974), los carbohidratos de reserva son importantes como aportadores de energía; y cantidades insuficientes en las estacas pueden disminuir e incluso inhibir la formación y el crecimiento de raíces.

Cuadro 16. Efecto del tipo de estaca en la longitud de raíces inducidas a partir de estacas de *Morus alba*.

Tipo de estaca	Porcentaje (%) de estacas con			Total de estacas inducidas
	Raíces Cortas	Raíces Medianas	Raíces Largas	
Delgada larga	26.5 A (*)	0.0 A	0.0 A	13
Gruesa larga	24.5 A	14.3 B	2.01 A	20
Gruesa corta	22.5 A	10.2 AB	0.0 A	16
Total estacas inducidas	36	12	1	49

(*) Letras iguales en cada columna indican que no existen diferencias significativas entre los tipos de estaca, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$.

III.4.- Efecto conjunto del AIB y tipo de estacas

De esta interacción se deduce que, independiente de la concentración de AIB y del tipo de estaca, *Morus alba* indujo raíces cortas en un mayor porcentaje de estacas; seguidas de raíces medianas y escasamente indujo raíces largas.

Cuando se analizó la respuesta de los distintos tipos de estacas, dentro de cada concentración de AIB no se observaron diferencias en cada categoría de longitud de raíces (Cuadro 17). Lo mismo ocurrió cuando se analizó las respuestas de las concentraciones de AIB para cada tipo de estaca, Sin embargo, si bien no se verificaron diferencias, se observó que, aparentemente las estacas gruesas tendrían una mayor tendencia a inducir raíces medianas en todas las concentraciones de AIB a que fueron sometidas (Cuadro 18).

Cuadro 17. Efecto de la concentración de AIB y Tipo de estaca de *Morus alba* , en la longitud de raíces inducidas.

Porcentaje (%) de estacas con					
Concentración de AIB	Tipo de estaca	Raíces Cortas	Raíces Medianas	Raíces Largas	Número de estacas inducidas
500 ppm	Delgada larga	17.6 A (*)	0.0 A	0.0 A	3
	Gruesa larga	23.5 A	11.8 A	0.0 A	6
	Gruesa corta	23.5 A	23.5 A	0.0 A	8
1000 ppm	Delgada larga	31.3 A	0.0 A	0.0 A	5
	Gruesa larga	31.3 A	18.8 A	0.0 A	8
	Gruesa corta	18.8 A	0.0 A	0.0 A	3
2000 ppm	Delgada larga	31.3 A	0.0 A	0.0 A	5
	Gruesa larga	18.8 A	12.5 A	6.3 A	6
	Gruesa corta	25.0 A	6.3 A	0.0 A	5

(*) Letras iguales en cada columna indican que no existen diferencias, entre los tipos de estacas dentro de cada concentración de AIB, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$. (Los porcentajes se calcularon en base al total de estacas inducidas de cada concentración de AIB).

Cuadro 18. Efecto del tipo de estaca en la longitud de raíces inducidas en estacas de *Morus alba*, al ser sometida a distintas concentraciones de AIB.

Porcentaje (%) de estacas con					
Tipo de estaca	Concentración de AIB	Raíces Cortas	Raíces Medianas	Raíces Largas	Número de estacas inducidas
Delgada larga	500 ppm	23.1 A (*)	0.0 A	0.0 A	3
	1000 ppm	38.5 A	0.0 A	0.0 A	5
	2000 ppm	38.5 A	0.0 A	0.0 A	5
Gruesa larga	500 ppm	20.0 A	10.0 A	0.0 A	6
	1000 ppm	25.0 A	15.0 A	0.0 A	8
	2000 ppm	15.0 A	10.0 A	5.0 A	6
Gruesa corta	500 ppm	25.0 A	25.0 A	0.0 A	8
	1000 ppm	18.6 A	0.0 A	0.0 A	3
	2000 ppm	25.0 A	6.3 A	0.0 A	5

(*) Letras iguales en cada columna indican que no existen diferencias, entre las concentraciones de AIB aplicadas a cada tipo de estacas, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$. (Los porcentajes se calcularon en base al total de estacas inducidas de cada tipo de estaca).

Si bien las aplicaciones de AIB fueron necesarias para la inducción de raíces, en la mayoría de las estacas, estas no tuvieron un efecto en un mayor crecimiento radical y por el contrario, las concentraciones de AIB aplicadas, aparentemente presentaron un efecto negativo. Sin embargo, en las estacas gruesas a pesar de que no se observaron diferencias con las estacas delgadas largas, presentaron una tendencia a formar raíces con una mayor longitud (Figura 5), en todas las concentraciones de AIB a que se sometieron.

Esto posiblemente se debió a que como señala Azcon Bieto y Talon (1993), concentraciones elevadas de auxinas inhiben el crecimiento de las raíces y estimula la formación de estas; por lo que es probable que las respuestas obtenidas, al analizar este factor, se deban en parte a la acumulación de carbohidratos de reserva en las estacas (mayor grosor) y al tipo y características del sustrato utilizado. En este mismo sentido Cámeron (1968) afirma que, la iniciación de raíces y el crecimiento radicular son procesos morfogénéticos separados y posiblemente, cada uno requiere diferentes condiciones. Este autor considera que el crecimiento de las raíces es principalmente afectado por factores medioambientales, mientras que la iniciación de raíces se encuentra directamente influenciado por condiciones hormonales, nutricionales y ontogénicas.



Figura 5. Formación de raíces de longitud mediana en una estaca gruesa larga, sometida a 2000 ppm de AIB.

III.5.- Efecto conjunto del AIB y posición sobre el sustrato.

Cuando se evaluó el efecto del AIB en relación a la posición de las estacas en el sustrato se verificó que *Morus alba* siempre formó raíces cortas en un mayor porcentaje de estacas, seguidas de raíces medianas y escasamente formó raíces largas, independientemente de la concentración de AIB aplicado o de la posición de las estacas sobre el sustrato (Cuadro 19).

Por otra parte cuando se evaluó la respuesta de las estacas colocadas en diferentes posiciones sobre el sustrato y sometidas a distintas concentraciones de AIB, tampoco se encontraron diferencias en la longitud de las raíces inducidas (Cuadro 20).

Cuadro 19. Efecto de la concentración de AIB y posición sobre el sustrato en la longitud de raíces inducidas en estacas de *Morus alba*.

		Porcentaje (%) de estacas con			Número de estacas que indujeron raíces
Concentración de AIB	Posición sobre el sustrato	Raíces Cortas	Raíces Medianas	Raíces Largas	
500 ppm	Verticales 2	35.3 A (*)	11.8 A	0.0 A	8
	Verticales 3	29.4 A	23.5 A	0.0 A	9
1000 ppm	Verticales 2	43.8 A	12.5 A	0.0 A	9
	Verticales 3	37.5 A	6.3 A	0.0 A	7
2000 ppm	Verticales 2	31.3 A	6.3 A	0.0 A	6
	Verticales 3	43.8 A	12.5 A	6.3 A	10

(*)Letras iguales en cada columna, dentro de cada concentración de AIB, indican que no existen diferencias significativas entre las posiciones sobre el sustrato, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$. (Los porcentajes fueron calculados en base al total de estacas inducidas de cada concentración).

Cuadro 20. Efecto de la posición de las estacas sobre el sustrato en la longitud de raíces inducidas, al ser tratadas con diferentes concentraciones de AIB, en estacas de *Morus alba*.

Posición sobre el sustrato	Concentración de AIB	Porcentaje (%) de estacas con			Número de estacas que indujeron raíces
		Raíces Cortas	Raíces Medianas	Raíces Largas	
Verticales 2	500 ppm	26.1 A (*)	8.7 A	0.0 A	8
	1000 ppm	30.4 A	8.7 A	0.0 A	9
	2000 ppm	21.7 A	4.3 A	0.0 A	6
Verticales 3	500 ppm	19.2 A	15.4 A	0.0 A	9
	1000 ppm	23.1 A	3.8 A	0.0 A	7
	2000 ppm	26.9 A	7.7 A	3.8 A	10

(*)Letras iguales, en cada columna indican que no existen diferencias significativas entre las concentraciones de AIB, dentro de cada posición sobre el sustrato, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$. (Los porcentajes fueron calculados en base al total de estacas inducidas en cada posición sobre el sustrato).

Estas respuestas indicarían que la posición de las estacas en el sustrato no ejercieron un efecto en la longitud de las raíces inducidas.

Por lo tanto, las respuestas obtenidas al analizar el efecto conjunto de estos dos factores estaría dada por la concentración de AIB y no por la posición sobre el sustrato; además al parecer el sustrato usado en este estudio habría jugado un rol importante en esta respuesta. Un estudio realizado por Manríquez (1997), en el que se evaluó la capacidad rizogénica de portainjertos de cerezo, al ser tratados con distintas concentraciones de AIB y tipos de sustratos, se encontró que las raíces inducidas presentaron diferencias en su longitud, por lo que se recomienda, en estudios posteriores, evaluar diferentes tipos de sustratos y concentraciones de AIB.

IV.- Ramificación de raíces

Al igual que en el parámetro longitud de raíces, los análisis se hicieron sólo a los tratamientos que presentaron formación de raíces y además se analizaron aquellos que indujeron raíces con algún grado de ramificación.

Se destaca que de las tres estacas inducidas en el tratamiento sin aplicación de AIB, solamente dos estacas presentaron ramificaciones, las cuales fueron abundantes. Ambas se presentaron en el grupo colocado con dos yemas bajo el sustrato; una de esta fue una estaca gruesa larga y la otra gruesa corta.

IV.1.- Efecto de la concentración de AIB

La mayor parte de las estacas inducidas presentaron escasas ramificaciones y solamente un menor grupo de éstas formó raíces con ramificaciones medias. No se observaron diferencias entre las concentraciones de AIB en cada categoría de ramificación de raíces (Figura 6).

Estos resultados son contradictorios a los encontrados por Navarro (2002), el cual propagó esquejes sub apicales de Avellano (*Gevuina avellana* Mol.) y encontró efectos positivos del AIB entre las concentraciones de 0 y 2500 ppm, sin embargo, se observó una disminución en las ramificaciones de las raíces al agregar una dosis de 5000 ppm de AIB. Por lo que se podría inferir que las aplicaciones de AIB, en este estudio, no tuvieron un efecto en la formación de ramificaciones en las raíces inducidas.

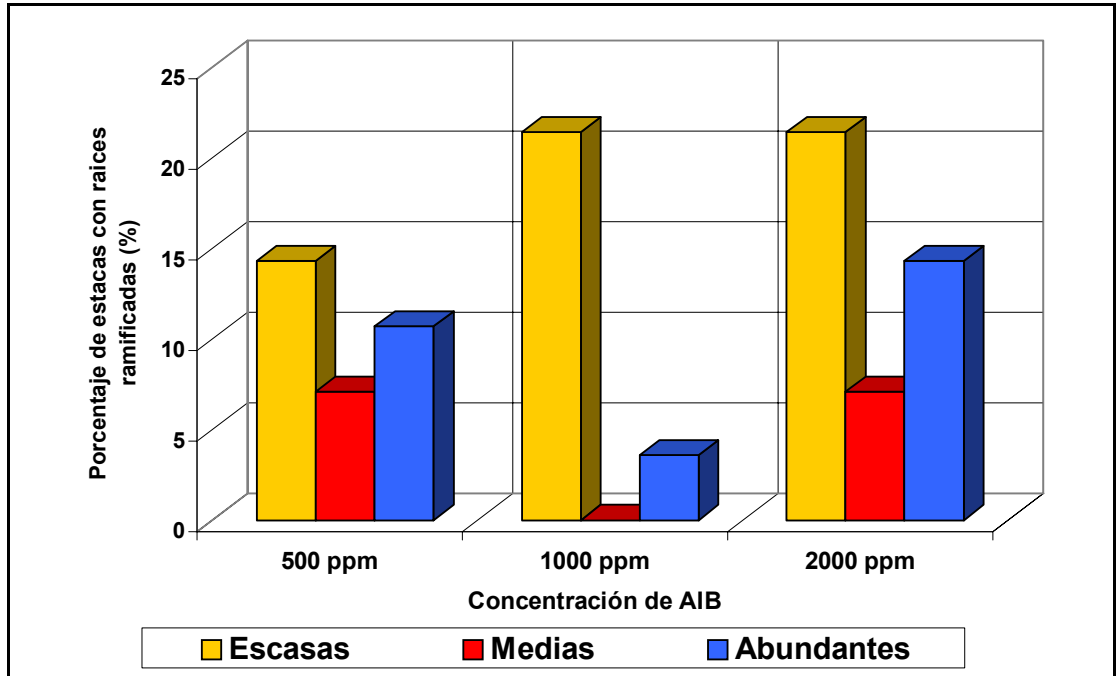


Figura 6. Efecto de la concentración de AIB en la ramificación de raíces inducidas en estacas de *Morus alba*.

(*) No se observaron diferencias entre las concentraciones de AIB aplicados, al comparar una misma categoría de ramificación de raíces. (Los porcentajes fueron calculados a partir de un total de 28 estacas).

IV.2.- Efecto de la posición sobre el sustrato

En los resultados obtenidos, para este parámetro se verificó que no existió un efecto del número de yemas bajo el sustrato en la formación de ramificaciones en las raíces inducidas, ya que no se observaron diferencias en el porcentaje de estacas con distintos tipos de ramificaciones en las raíces inducidas (Figura 7).

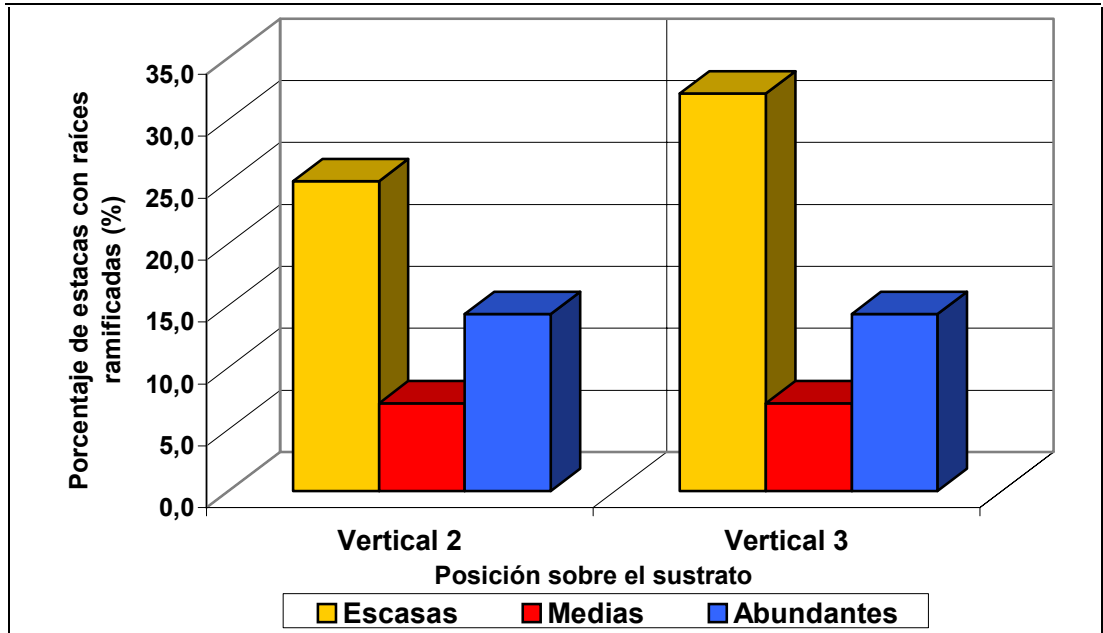


Figura 7. Efecto de la posición sobre el sustrato en el porcentaje de estacas con raíces Ramificadas.

(*) No existieron diferencias entre las posiciones sobre el sustrato, al comparar una misma categoría de ramificación de raíces. (Los porcentajes fueron calculados a partir de un total de 28 estacas).

IV.3.- Efecto del Tipo de estaca

No se encontró diferencias entre los distintos tipos de estacas, para cada categoría de ramificación de raíces (Figura 8); sin embargo, las estacas gruesas independiente de su longitud, tendrían una mayor tendencia a formar ramificaciones abundantes en las raíces inducidas.

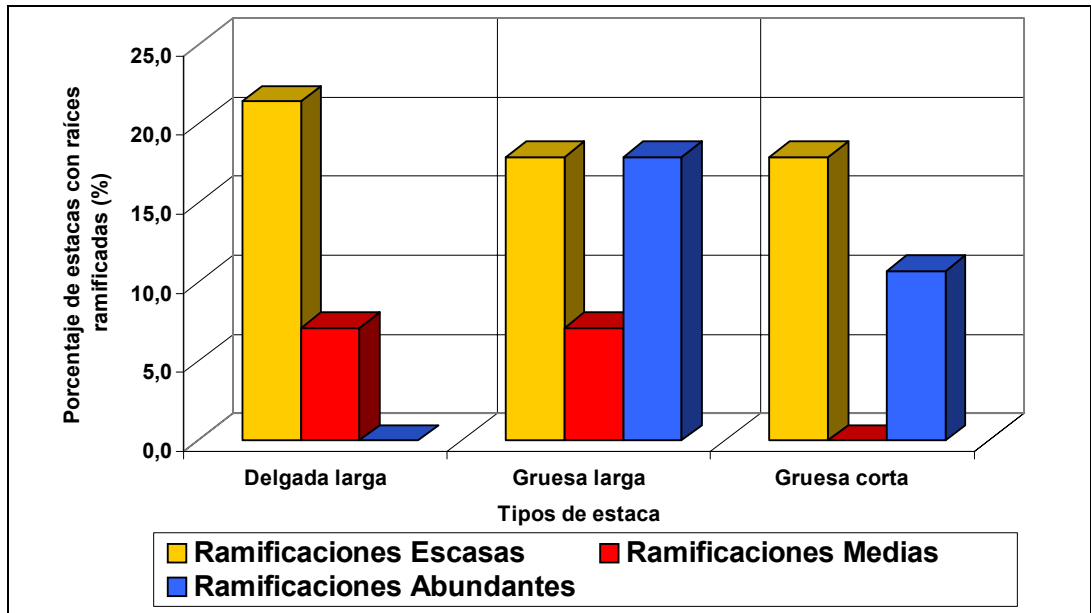


Figura 8. Efecto del tipo de estaca en el porcentaje de estacas con raíces ramificadas.

(*) No existieron diferencias entre los tipos de estacas, al comparar una misma categoría de ramificación de raíces. (Los porcentajes fueron calculados a partir de un total de 28 estacas).

IV.4.- Efecto conjunto del AIB y del tipo de estaca

Cuando se analizó el efecto conjunto de este factor se verificó que no existían diferencias entre las concentraciones de AIB aplicados y los tipos de estaca (Cuadro 21); sin embargo, a pesar del bajo porcentaje de estacas que respondieron, se observó que aparentemente las estacas gruesas, independiente de la longitud y concentración de AIB aplicado, formaron ramificaciones abundantes en las raíces inducidas (Cuadro 22). Esto estaría relacionado con la concentración de carbohidratos de reserva en las estacas, ya que como señala Hartmann y Kester (1988), el almidón cumple un papel nutricional importante en el desarrollo de las raíces adventicias, además Azcon Bieto y Talon (1993), señalan que las auxinas aplicadas en forma exógena inducen la síntesis de etileno, el cual tiene una relación con la formación de raíces laterales, pelos radicales e inducción de raíces.

Cabe destacar que hubo un mayor porcentaje de estacas inducidas que desarrollaron escasas ramificaciones en todos los tipos de estacas y concentraciones de AIB usados, sin apreciar diferencias entre ellos.

Cuadro 21. Efecto de la concentración de AIB y Tipos de estaca en el porcentaje de estacas que formaron ramificaciones en sus raíces

Concentración de AIB	Tipo de estaca	Abundancia de raíces (%)			N° estacas con raíces ramificadas
		Escasas	Medias	Abundantes	
500 ppm	Delgada larga	11.1 A (*) (+0.105) (**)	0.0 A (0.0)	0.0 A (0.0)	1
	Gruesa larga	11.1 A (+0.105)	22.2 A (+0.138)	0.0 A (0.0)	3
	Gruesa corta	22.2 A (+0.138)	0.0 A (0.0)	33.3 A (+0.157)	5
1000 ppm	Delgada larga	28.6 A (0.171)	0.0 A (0.0)	0.0 A (0.0)	2
	Gruesa larga	42.9 A (+0.187)	0.0 A (0.0)	14.3 A (+0.132)	4
	Gruesa corta	14.3 A (+0.132)	0.0 A (0.0)	0.0 A (0.0)	1
2000 ppm	Delgada larga	25.0 A (+0.125)	16.7 A (+0.107)	0.0 A (0.0)	5
	Gruesa larga	8.3 A (+0.079)	0.0 A (0.0)	33.3 A (+0.136)	5
	Gruesa corta	16.7 A (+0.107)	0.0 A (0.0)	0.0 A (0.0)	2
Total de estacas con raíces ramificadas					28

(*) Letras iguales en cada columna, dentro de cada concentración de AIB indican que no existen diferencias, entre los tipos de estacas, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$. (Los porcentajes se calcularon en base al total de estacas inducidas de cada concentración de AIB).

(**) Número entre paréntesis, a bajo de cada porcentaje, indica su error estándar.

Cuadro 22. Efecto del Tipo de estacas y concentración de AIB, en el porcentaje de estacas que indujeron raíces con distintos tipos de ramificación.

Tipo de estaca	Concentración de AIB	Abundancia de raíces (%)			Total de estacas con raíces ramificadas
		Escasas	Medias	Abundantes	
Delgada larga	500 ppm	12.5 A (*) (+0.117) (**)	0.0 A (0.0)	0.0 A (0.0)	1
	1000 ppm	25.0 A (+0.153)	0.0 A (0.0)	0.0 A (0.0)	2
	2000 ppm	37.5 A (+0.171)	25.0 A (+0.153)	0.0 A (0.0)	5
Gruesa larga	500 ppm	8.3 A (+0.079)	16.7 A (+0.108)	0.0 A (0.0)	3
	1000 ppm	25.0 A (+0.125)	0.0 A (0.0)	8.3 A (+0.079)	4
	2000 ppm	8.3 A (+0.079)	0.0 A (0.0)	33.3 A (+0.136)	5
Gruesa corta	500 ppm	25.0 A (+0.153)	0.0 A (0.0)	37.5 A (+0.171)	5
	1000 ppm	12.5 A (+0.117)	0.0 A (0.0)	0.0 A (0.0)	1
	2000 ppm	25.0 A (+0.153)	0.0 A (0.0)	0.0 A (0.0)	2
Total de estacas con raíces ramificadas					28

* Letras iguales indican que no existen diferencias, entre las concentraciones de AIB aplicadas a cada tipo de estacas, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$. (Los porcentajes se calcularon en base al total de estacas que formaron ramificaciones en sus raíces, en cada tipo de estaca).

(**) Número entre paréntesis, a bajo de cada porcentaje, indica su error estándar

IV.5.- Efecto conjunto del AIB y de la posición sobre el sustrato

Las estacas colocadas con dos y tres yemas bajo el sustrato y tratadas con aplicaciones de 500 y 2000 ppm, si bien no presentaron diferencias entre las posiciones sobre el sustrato, se observó que las estacas colocadas con tres yemas bajo el sustrato, mostraron una mayor tendencia a formar ramificaciones escasas en las raíces (Cuadro 23).

Cuando se les aplicó una concentración de 1000 ppm, solo las estacas colocadas con dos yemas bajo el sustrato formaron ramificaciones en las raíces aunque estas también fueron escasas (Cuadro 24). Por otra parte, no se encontraron diferencias cuando las estacas formaron ramificaciones medias y abundantes en sus raíces.

Cuadro 23. Efecto de la concentración de AIB y posición sobre el sustrato en el porcentaje de estacas que formaron ramificaciones en sus raíces

Concentración de AIB	Posición sobre el sustrato	Abundancia de raíces (%)			Total de estacas con raíces ramificadas
		Escasas	Medias	Abundantes	
500 ppm	Verticales 2	0.0 A (*) (0.0) (**)	11.1 A (0.105)	11.1 A (+0.105)	2
	Verticales 3	44.4 A (+0.166)	11.1 A (+0.105)	22.2 A (+0.138)	7
1000 ppm	Verticales 2	85.7 A (+0.132)	0.0 A (0.0)	14.3 A (+0.132)	7
	Verticales 3	0.0 B (0.0)	0.0 A (0.0)	0.0 A (0.0)	0
2000 ppm	Verticales 2	8.3 A (+0.079)	8.3 A (+0.079)	16.7 A (+0.107)	4
	Verticales 3	41.7 A (+0.142)	8.3 A (+0.079)	16.7 A (+0.107)	8
Total de estacas con raíces ramificadas					28

(*) Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las posiciones sobre el sustrato, dentro de cada concentración de AIB, según el método estadístico Prueba "t" con un $P < 0,05$ (Los porcentajes fueron calculados en base al total de estacas que formaron ramificaciones en sus raíces en cada concentración de AIB).

(**) Número entre paréntesis, a bajo de cada porcentaje, indica su error estándar.

Cuadro 24. Efecto de la posición sobre el sustrato en el porcentaje de estacas que formaron ramificaciones en sus raíces, al ser tratadas con diferentes concentraciones de AIB.

Posición sobre el sustrato	Concentración de AIB	Abundancia de raíces (%)			Total de estacas con raíces ramificadas
		Escasas	Medias	Abundantes	
Verticales 2	500 ppm	0.0 A (*) (0.0) (**)	7.7 A (+0.074)	7.7 A (+0.074)	2
	1000 ppm	46.2 B (+0.138)	0.0 A (0.0)	7.7 A (+0.074)	7
	2000 ppm	7.7 AB (+0.074)	7.7 A (+0.074)	15.4 A (+0.100)	4
Verticales 3	500 ppm	26.7 A (+0.123)	6.7 A (+0.065)	13.3 A (+0.087)	7
	1000 ppm	0.0 A (0.0)	0.0 A (0.0)	0.0 A (0.0)	0
	2000 ppm	33.3 A (+0.122)	6.7 A (+0.065)	13.3 A (+0.087)	8
Total de estacas con raíces ramificadas					28

(*) Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las concentraciones de AIB, dentro de cada posición sobre el, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$. (Los porcentajes fueron calculados en base al total de estacas que formaron ramificaciones en sus raíces, en cada posición sobre el sustrato).

(**) Número entre paréntesis, a bajo de cada porcentaje, indica su error estándar

De los resultados obtenidos al analizar estos dos factores en conjunto, se podría inferir que la posición de la estaca sobre el sustrato no influyó en el desarrollo de un mayor número de ramificaciones (medias y abundantes) de las raíces formadas; por lo que esta respuesta estaría asociada al efecto de la concentración de AIB. Esto último estaría relacionado con el efecto de las auxinas aplicadas exógenamente, ya que estas estimulan la producción de etileno, en especial cuando se agregan cantidades relativamente elevadas. El efecto positivo del etileno sería la inducción de raíces laterales, adventicias y pelos radicales. Sin embargo, se ha sugerido que para la formación de pelos radicales puede existir una ruta en la que ambas hormonas actúen coordinadamente y otra una ruta independiente para cada una de ellas.

La acción de estas hormonas se realizaría promoviendo el desarrollo radial de las células epidérmicas, una vez que se ha producido la diferenciación de las mismas (Azcon Bieto y Talon, 1993).

El contar con raíces mas ramificadas puede significar un aumento de la estabilidad de las plántulas y una mayor capacidad de explorar la parte superior del perfil del suelo (Rose, *et al.*, 1998). Además, las raíces laterales primarias constituyen el entramado básico para la producción de nuevas raíces, siendo importantes en la absorción de agua y nutrientes minerales y además en la asociación con micorrizas (Thompson y Schultz, 1995).

V.- Viabilidad de raíces

Cuando, en este estudio, se habla de viabilidad de raíces, se refiere a la sobrevivencia potencial que presentan las raíces en función de la presencia de ramificaciones, ya que como señala Rose *et al.*, (1990) un sistema radical desarrollado puede aumentar el potencial de absorción de agua y nutrientes, lo que se traduce en un incremento de su potencial de crecimiento y por lo tanto de la sobrevivencia de la planta.

V.1.- Efecto del AIB

Al evaluar este parámetro se verificó que no existía un efecto del AIB, en la viabilidad de raíces (Cuadro 25). Es decir, el AIB no aumentó la probabilidad de sobrevivencia de las raíces, ni por consiguiente de las estacas como se esperaba, a pesar de que si fue necesario para inducir raíces.

Cuadro 25. Efecto del AIB en el Porcentaje de estacas Viables.

Porcentaje de estacas (%)			
Concentración de AIB	Desarrollo Viable	Desarrollo No viable	Total de estacas Inducidas (N°)
500 ppm	18.4 A (*)	16.3 A	17
1000 ppm	14.3 A	18.4 A	16
2000 ppm	24.5 A	8.2 A	16
Total	28	21	49

(*) Letras iguales, en cada columna indican que no existen diferencias significativas entre las concentraciones de AIB, según el método estadístico, prueba “t”, con un $P < 0,05$. (los porcentajes se calcularon en base al total de estacas inducidas).

Sólo el 57,1% de las estacas evaluadas fueron viables, es decir, presentaron algún tipo de ramificaciones en sus raíces.

V.2.- Efecto de la posición sobre el sustrato

Cuando se analizó este factor se encontró que no existían diferencias entre el número de yemas bajo el sustrato en el porcentaje de estacas viables (Cuadro 26). Por lo que se podría decir que este factor no influyo en el mayor o menor número de estacas con ramificaciones y por ende viables.

Cuadro 26. Efecto del AIB en el porcentaje de raíces viables en estacas de *Morus alba*.

Porcentaje de estacas (%)			
Posición sobre el sustrato	Desarrollo Viable	Desarrollo No viable	Total de estacas inducidas
Vertical 2	26.5 A (*)	20.4 A	23
Vertical 3	30.6 A	22.4 A	26
Total estacas inducidas	28	21	49

(*) Letras iguales, en cada columna indican que no existen diferencias significativas entre el número de yemas bajo el sustrato, según el método estadístico Prueba t, con un $P < 0,05$. (los porcentajes se calcularon en base al total de estacas inducidas).

V.3.- Efecto del tipo de estaca

Al analizar este factor, no se observaron diferencias entre los distintos tipos de estacas, sin embargo, posiblemente en las estacas gruesas largas exista una mayor probabilidad que sus raíces sean viables (Cuadro 27). Esto se debió a que este tipo de estaca presentó una mayor cantidad de ramificaciones en sus raíces.

Cuadro 27. Efecto del Tipo de estaca en el porcentaje de estacas con raíces viables.

Tipo de estaca	Porcentaje de estacas (%)		Total de estacas inducidas
	Desarrollo Viable	Desarrollo No viable	
Delgada larga	16.3 A (*)	10.2 A	13
Gruesa larga	24.5 A	16.3 A	20
Gruesa corta	16.3 A	16.3 A	16
	28	21	49

(*) Letras iguales, en cada columna indican que no existen diferencias significativas entre los tipos de estaca, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$. (los porcentajes se calcularon en base al total de estacas inducidas).

V.4.- Efecto conjunto del AIB y del Tipo de estaca

Cuando se evaluó el efecto conjunto del AIB y del tipo de estaca se verificó que aparentemente las concentraciones de AIB aplicadas en los distintos tipos de estacas, no ejercerían un efecto en la viabilidad potencial de las estacas (Cuadro 28).

A su vez, la probabilidad que tengan los distintos tipos de estacas de ser viables o no, cuando se someten a diferentes concentraciones de AIB, es similar por lo que se podría inferir que, bajo estas condiciones experimentales, estos factores no juegan un papel en la determinación de la viabilidad de las raíces (Cuadro 29).

Cuadro 28. Efecto de la concentración de AIB y tipo de estaca en el porcentaje de viabilidad de raíces de estacas de *Morus alba*.

Concentración de AIB	Tipo de estaca	Porcentaje de estacas (%)		Número de estacas que indujeron raíces
		Desarrollo Viable	Desarrollo No viable	
500 ppm	Delgada larga	5.9 A (*)	11.8 A	3
	Gruesa larga	17.7 A	17.7 A	6
	Gruesa corta	29.4 A	17.7 A	8
1000 ppm	Delgada larga	12.5 A	18.8 A	5
	Gruesa larga	25.0 A	25.0 A	8
	Gruesa corta	6.3 A	12.5 A	3
2000 ppm	Delgada larga	31.3 A	0.0 A	5
	Gruesa larga	31.3 A	6.3 A	6
	Gruesa corta	12.5 A	18.8 A	5
		28	21	49

(*) Letras iguales, en una misma columna indican que no existen diferencias, entre los tipos de estacas dentro de cada concentración de AIB, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$. (Los porcentajes se calcularon en base al total de estacas indujeron raíces, cada concentración de AIB).

Cuadro 29. Efecto del tipo de estaca, en la viabilidad de raíces de estacas de *Morus alba*, al ser sometidas a distintas concentraciones de AIB.

Tipo de estaca	Concentración de AIB	Porcentaje de estacas (%)		Número de estacas que indujeron raíces
		Desarrollo Viable	Desarrollo No viable	
Delgada larga	500 ppm	7.7 A (*)	15.4 A	3
	1000 ppm	15.4 A	23.1 A	5
	2000 ppm	38.5 A	0.0 A	5
Gruesa larga	500 ppm	15.0 A	15.0 A	6
	1000 ppm	20.0 A	20.0 A	8
	2000 ppm	25.0 A	5.0 A	6
Gruesa corta	500 ppm	31.3 A	18.8 A	8
	1000 ppm	6.3 A	12.5 A	3
	2000 ppm	12.5 A	18.8 A	5
Totales		28	21	49

* Letras iguales, en una misma columna indican que no existen diferencias, entre las concentraciones de AIB aplicadas a cada tipo de estacas, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$. (Los porcentajes se calcularon en base al total de estacas que indujeron raíces, en cada tipo de estaca).

V.5.- Efecto conjunto del AIB y de la posición sobre el sustrato

Al analizar el efecto conjunto de estos dos factores se verificó que cuando las estacas colocadas con dos y tres yemas bajo el sustrato fueron sometidas a concentraciones de 500 y 2000 ppm de AIB, no mostraron diferencias en la viabilidad de las raíces inducidas; sin embargo, cuando fueron sometidas a concentraciones de 1000 ppm de AIB, las estacas colocadas con tres yemas bajo el sustrato no fueron viables (Cuadro 30). Por otra parte, si bien las estacas colocadas con dos yemas bajo el sustrato respondieron a todas las aplicaciones de AIB se observó que, aparentemente con aplicaciones de 2000 y especialmente de 1000 ppm se obtendrían mayores porcentajes de viabilidad (Cuadro 31).

Cuadro 30. Efecto de la concentración de AIB en estacas de *Morus alba*, en el porcentaje de viabilidad de raíces, según su posición sobre el sustrato.

Concentración de AIB	Posición sobre el sustrato	Porcentaje de estacas (%)		Número de estacas que indujeron raíces
		Desarrollo Viable	Desarrollo No viable	
500 ppm	Verticales 2	11.8 A	35.3 A	8
	Verticales 3	41.2 A	11.8 A	9
1000 ppm	Verticales 2	43.8 A	12.5 A	9
	Verticales 3	0.0 B	43.8 A	7
2000 ppm	Verticales 2	25.0 A	12.5 A	6
	Verticales 3	50.0 A	12.5 A	10
Totales		28	21	49

(*)Letras iguales, en cada columna indican que no existen diferencias significativas entre las posiciones sobre el sustrato, dentro de cada concentración de AIB, según el método estadístico Prueba "t" con un $P < 0,05$. (Los porcentajes fueron calculados en base al total de estacas que indujeron raíces en cada concentración de AIB).

Cuadro 31. Efecto de la posición sobre el sustrato en la viabilidad de raíces en estacas de *Morus alba*, al ser sometidas a diferentes concentraciones de AIB.

Porcentaje de estacas (%)				
Posición sobre el sustrato	Concentración de AIB	Desarrollo Viable	Desarrollo No viable	Número de estacas que indujeron raíces
Verticales 2	500 ppm	8,7 A (*)	26,1 A	8
	1000 ppm	30,4 A	8,7 A	9
	2000 ppm	17,4 A	8,7 A	6
Verticales 3	500 ppm	26,9 A	7,7 A	9
	1000 ppm	0,0 A	26,9 A	7
	2000 ppm	30,8 A	7,7 A	10
Total estacas inducidas		28	21	49

(*)Letras iguales en cada columna, indican que no existen diferencias significativas entre las concentraciones de AIB, dentro de cada posición sobre el sustrato, según el método estadístico Prueba “t” con un $P < 0,05$. (Los porcentajes fueron calculados en base al total de estacas que formaron ramificaciones en sus raíces, en cada posición sobre el sustrato).

VI.- Brotación de las yemas en estacas de *Morus alba*.

Al día siguiente de plantadas las estacas en el sustrato, comenzó a observarse brotación de las yemas. Esta fue más notoria en las estacas delgadas largas, gruesas largas y gruesas cortas; sometidas a 500 ppm y en especial en los grupos que no se les aplicó el regulador de crecimiento (Cuadro 32), por lo que se podría deducir que, aparentemente concentraciones altas de AIB estarían inhibiendo la brotación de las yemas.

Cuadro 32. Número de estacas de *Morus alba*, que brotaron a los 75 días (antes de la primera evaluación) y a los 150 días (después de la primera evaluación del enraizamiento), según tipo de estaca.

Concentración de AIB	Posición sobre el sustrato	Evaluación a los 75 Días				Evaluación a los 150 días			
		Delgada Corta	Delgada Larga	Gruesa Corta	Gruesa Larga	Delgada Corta	Delgada Larga	Gruesa Corta	Gruesa Larga
0 ppm	Vertical 2		2	2	3		1		1
	Vertical 3	2	1	2	2		1	3	1
500 ppm	Vertical 2		1	2	1				
	Vertical 3			2	3				
1000 ppm	Vertical 2			1					
	Vertical 3								
2000 ppm	Vertical 2		1	2					
	Vertical 3			2					
		2	5	13	9	0	2	3	2

Sin embargo, después de unos días las hojas y brotes en desarrollo se marchitaban y morían, probablemente debido a las altas temperaturas del mes de enero, las que oscilaron entre los 33° – 35 °C, la baja humedad relativa existente dentro del invernadero y principalmente debido a que éstas no tenían raíces para absorber agua, lo que pudo haber acelerado la transpiración de estas y por consiguiente su marchitamiento.

Cuando las primeras estacas comenzaron a mostrar crecimiento del brote a partir de las yemas abiertas (fines de marzo), criterio establecido para evaluar el enraizamiento, se constató que todas correspondieron a estacas gruesas cortas y en especial a estacas gruesas largas. Por lo que los brotes de estacas delgadas cortas y delgadas largas brotadas, murieron al cabo de un tiempo y de las 16 estacas gruesas largas que brotaron, 9 de estas formaron una nueva planta y de las 11 estacas gruesas cortas que brotaron, 5 se establecieron como planta. (Cuadro 33).

Con el fin de permitir que el resto de las estacas que no brotaron lo hicieran, se esperó 2 meses más; y al cabo de este periodo 7 estacas brotaron, las cuales correspondieron a estacas delgadas largas, gruesas largas y gruesas cortas, sin tratamiento auxínico y mayoritariamente de los grupos colocados con tres yemas bajo el sustrato (Cuadro 33). De estos solo 3 llegaron a establecerse, siendo todas estacas gruesas largas. Correspondiendo, una al grupo tratado con 500 ppm y colocadas con tres yemas bajo el sustrato y las otras 2 al grupo tratado con 2000 ppm y colocadas con dos y tres yemas bajo el sustrato.

Debido a que el número de estacas arraigadas fue notoriamente bajo, no fue posible hacer un análisis estadístico para verificar si las concentraciones de AIB, según posición de las estacas sobre el sustrato y tipos de estacas influyeron en dicho establecimiento, por lo que solamente se hará un análisis descriptivo.

En resumen, de las 36 estacas que brotaron, solamente 14 llegaron a formar una planta. Llama la atención que de estas 14 estacas, 2 no brotaron, pero desarrollaron raíces viables para establecer una nueva planta.

VII.- Formación y calidad del sistema radical inducido

Cuando se evaluó el arraigamiento de las estacas, se observó que de las 54 estacas inducidas, solo 14 llegaron a formar una nueva planta, además todas las estacas establecidas correspondieron a estacas gruesas cortas y en su mayoría gruesas largas. Se destaca que de las estacas gruesas cortas que arraigaron; la gran mayoría lo hizo con aplicación de AIB de 500 ppm y solamente 1 estaca arraigó sin tratamiento hormonal (Cuadro 34).

El sistema radical de las estacas establecidas se caracterizó porque el número de raíces principales varió entre 2 a 5, a excepción de algunas estacas que formaron más de 6 raíces, hecho que se observó principalmente en el grupo tratado con 2000 ppm de AIB (Cuadro 34). En tanto, la longitud de raíces en las estacas establecidas fue mayoritariamente mediano y sus ramificaciones fueron en su mayoría abundantes (Cuadro 34).

Cuadro 33. Formación y calidad de raíces en estacas de *Morus alba*, según concentración de AIB, posición sobre el sustrato y tipo de estaca.

		Tipos de estaca (Nº)			
Concentración de AIB	Posición sobre el sustrato	Gruesa corta		Gruesa larga	
		Total estacas	Calidad de raíces	Total estacas	Calidad de raíces
0 ppm	Vertical 2	1	C-mediana - abundante	1	C-mediana - abundante
	Vertical 3	0		0	
500 ppm	Vertical 2	1	D-mediana-abundante	1	C-mediana-medias
	Vertical 3	1	C-mediana-escasa	1	C-cortas-escasas
		1	C-mediana-abundante	1	C-mediana-medias
		1	E-mediana-abundante		
1000 ppm	Vertical 2	0		1	E-medianas-abundante
	Vertical 3	0			
2000 ppm	Vertical 2	0		1	E-medianas-abundante B-corta-abundante
	Vertical 3	0		1	E-larga-abundante E-medianas-abundante
Total		5		9	14

B: 1 raíz principal

Cortas: raíces < 3 cm.

Escasas: < 3 ramificaciones

C: 2 – 3 raíces principales

Medianas: raíces 4 - 10 cm.

Medias: 4 – 8 ramificaciones

D: 4 – 5 raíces principales

Largas: raíces > 10 cm.

Abundantes:> 8 ramificaciones

E: >5 raíces principales

Cuadro 34. Número de estacas que brotaron y que además, arraigaron con diferentes concentraciones de AIB; según posición sobre el sustrato y tipo de estaca.

		Tipos de estaca (N°)			
Concentración de AIB	Posición sobre el sustrato	Corta		Delgada Larga	
		Estacas Brotadas	Brotadas y Arraigadas	Estacas Brotadas	Brotadas y Arraigadas
0 ppm	Vertical 2	0	0	3	0
	Vertical 3	2	0	2	0
500 ppm	Vertical 2	0	0	1	0
	Vertical 3	0	0	0	0
1000 ppm	Vertical 2	0	0	0	0
	Vertical 3	0	0	0	0
2000 ppm	Vertical 2	0	0	1	0
	Vertical 3	0	0	0	0
Total estacas		0	0	7	0

		Tipos de estaca (N°)			
Concentración de AIB	Posición sobre el sustrato	Corta		Gruesa Larga	
		Estacas Brotadas	Brotadas y Arraigadas	Estacas Brotadas	Brotadas y Arraigadas
0 ppm	Vertical 2	4	1	2	1
	Vertical 3	3	0	5	0
500 ppm	Vertical 2	1	1	2	1
	Vertical 3	3	3	2	2
1000 ppm	Vertical 2	0	0	1	1
	Vertical 3	0	0	0	0
2000 ppm	Vertical 2	0	0	2	2
	Vertical 3	0	0	2	2
Total estacas		11	5	16	9

El sistema radical es el principal factor involucrado en una supervivencia exitosa y en un buen crecimiento inicial en terreno (Duryea, 1984). Un sistema radicular desarrollado puede aumentar el potencial de absorción de agua y nutrientes, lo que se traduce en un incremento del potencial de crecimiento radicular. Además, puede influir en la tasa de transpiración e intercambio gaseoso (Rose *et al.*, 1990).

Tanto viveristas como forestadores, han reconocido largamente la importancia de un buen sistema radical, en las plántulas de vivero, pero ha faltado una definición clara de qué es un “buen” sistema radical (Kormanik, 1986).

Por otra parte, raíces largas pueden ser una característica importante en áreas en que la exploración de las zonas más profundas del perfil del suelo son necesarias para mantener el estado hídrico de la plántula (Rose *et al.*, 1990).

Los sistemas radicales pueden ser insuficientes para una planta cuando estos no le proporcionan la cantidad de agua necesaria, más aún cuando ellos no son capaces de captar los nutrientes que necesitan. Se sostiene que la habilidad del sistema radicular para absorber agua es directamente proporcional a la cantidad de superficie expuesta, siendo muy importantes las abundantes raicillas y los pelos radicales (Böhm, 1979). Una planta ideal es aquella que logra la más alta tasa de supervivencia y crecimiento inicial en terreno (Duryea, 1984).

CONCLUSIONES

- *Morus alba* requiere de reguladores de crecimiento para inducir formación de raíces, sin embargo, las concentraciones de AIB usadas en este estudio no permitieron discriminar con claridad cual fue la mas adecuada.
- No existió un efecto de las concentraciones de AIB en la longitud de raíces, abundancia de ramificaciones y viabilidad de estas, salvo en la formación de callo en donde se observó una inhibición.
- No existió un efecto de la posición de las estacas en el sustrato, en ninguno de los parámetros en estudio.
- Las estacas provenientes de la zona media y basal de ramillas de 1 año, es decir, estacas delgadas largas y las gruesas sean largas o cortas, presentaron los más altos porcentajes de inducción de raíces, longitud de raíces, formación de callo, abundancia de ramificaciones y viabilidad de raíces, sin observarse diferencias entre estos tipos de estacas.

LITERATURA CITADA

ARANCIBIA, E. 1993. Uso de sustratos alternativos como reemplazo de la tierra de hoja en la producción de plantas ornamentales. Tesis Ingeniero Agrónomo, Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. Fac. de Agr. 76 p.

AWAD, G., 1993. Propagación vegetativa de seis vegetales nativos con posibilidades ornamentales. Tesis Ingeniero Agrónomo, Valdivia, Universidad Austral de Chile. Fac. de Agr. 63 p.

AZCON BIETO, J. Y TALON, M. 1993. Fisiología y bioquímica vegetal. Interamericana. Madrid. España. 581 p.

BENAVIDES, J. E. 1999. Utilización de la morera en sistemas de producción animal. [En línea]. www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/agrofor1.com. Consultado el 30 de septiembre de 2002.

BENAVIDES, J; ESPERANCE, M; GONZÁLEZ, J Y KASS, R. M. 1999. Evaluación de la calidad nutricional de la Morera (*Morus alba*) ensilada, con bovinos de engorda. [En línea]. www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/aga/agap/frg/afris/espanol/Document/morera consultado el día 10 de enero de 2003.

BEYL, C. A., G. GHALE AND L. ZHANG. 1995. Characteristics of hardwood cuttings influence rooting of *Actinidia arcuta* (Siebold and Zucc.). *Planch. Hortscience*, 30 (5): 973-976.

BOBADILLA, L. 1998. Propagación del Avellano (*Gevuina avellana* Mol.) mediante el enraizamiento de estacas. Tesis Ingeniero Agrónomo, Talca, Universidad de Talca. 47 p.

BOHM, W. 1979. Methods of study root system. Brühlsche Universitätsdruckerei, Lahngieben, Alemania. 188p.

BOTTI. 1999. Principios de la propagación y técnicas de propagación por estacas. Pp 72 - 82. En: Manejo tecnificado de invernaderos y propagación de plantas. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 161 p.

BREEN, J. AND MURAOKA. 1974. Effect of leaves on carbohydrate content and movement of ^{14}C - assimilate in plum cuttings. J. Amer. Soc. Hort. Sci, 99 (4): 326-332.

CABELLO, A. 1990. Enraizamiento de estacas de Alerce (*Fitzroya cupressoides* (Mol.) Jhonston) y de mañío macho (*Podocarpus nubigena lind.*). Ciencias Forestales, 6 (2): 135-139.

CAMERON, R.1968. The propagation of pinus radiata by cuttings. Influences affecting the rooting of cuttings. New Zealand Journal of Forestry. 13 (1): 78 – 89.

CUCULIZA, P. 1956. Propagación de plantas. Talleres Gráficos Villanueva. Lima. Perú. 280 p.

DURYEA, M. 1984. Nursery cultural practices. Impacts on seedling quality. pp 1 – 4. In: Duryea, M. (Ed). Evaluating seedling quality: Principles, procedures and predictive abilities of mayor test. Oregon State University, Forest Research Laboratory. Corvallis, Oregon. 143 p.

FAULDS, T. 1986. Propagation of cuttings in New Zelanda. Forest Research Institute. Nueva Zelanda. 22 p.

FITTER, A. 1996. Characteristics and functions of root systems. pp 1 – 17. In : Waisel, Y, Eshel, A. and Kafkafi, (Ed). Plant roots. The hidden half. Marcel Dekker, New York. 1002 p.

GUTIÉRREZ, B. 1995. Consideraciones sobre la fisiología y el estado de madurez en el enraizamiento de estacas de especies forestales. Santiago, Chile. Ciencia e Investigación Forestal. 9 (2): 261 – 277.

HARTMANN, T Y KESTER, D. 1988. Propagación de plantas: principios y prácticas. Continental, México. 727 p.

HARTMANN, T AND KESTER, D. 1997. Plant Propagation: Principles and practices. Prentice Hall, New Jersey. 820 p.

HEEDE, A. Y LECOURT, M. 1981. El estaquillado: guía práctica de multiplicación de las plantas Ediciones Mundi- prensa, Madrid.197 p.

HERNÁNDEZ; CERDA; MANTEROLA; OLIVARES Y JOHNSTON. 2003. Valoración nutritiva de la fitomasa de *Morus alba* adulta. Pp 37 – 38. En: XXVIII Reunión anual Sociedad chilena de Producción Animal. Libro de resúmenes 2003. Escuela de Agronomía. Universidad Católica del Maule. Talca. Chile. 80 p.

KORMANIK, P. 1986. Lateral root morphology as an expresión of sweetgum seedling quality. Forest Science, 32 (3): 595 – 604.

MANRÍQUEZ, V. 1997. Evaluación de la capacidad Rizogénica de estacas de Gisela 5 y Gisela 6 (*Prunus cerasus* 'Schattenmorelle' x *Prunus canescens*), portainjertos de cerezo (*p. Avium*). Tesis Ingeniero Agrónomo, Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. Fac. de Agr. 77 p.

MARTÍNEZ, P. (ED), W. 1943. La Morera: variedades, multiplicación, cultivo, cosecha, industrialización. Buenos Aires, Atlántida. 155 p.

NAVARRO, S. 2002. Propagación por esquejes de cinco clones de Gevuin (*Gevuina avellana* Mol.). Tesis Ingeniero Agrónomo, Valdivia, Universidad Austral de Chile. Facultad de Agronomía. 96 p.

POBLETE, P. G. 1997. Propagación vegetativa en Maqui *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stunz. Memoria Título Ingeniero Agrónomo, Chillán, Universidad Concepción, Facultad de Agronomía. Chile. 22 p.

PUIG, M. 2003. Enraizamiento de estacas de Guindo Ácido (*Prunus cerasus* L.), Cerezo Santa Lucía (*Prunus mahaleb* L.) y Cerezo Dulce (*Prunus avium* L. cv. Bing). Memoria Título Ingeniero Agrónomo, Chillan, Universidad Concepción, Facultad de Agronomía. Chile. 20 p.

ROJAS, CERDA Y MANTEROLA. 2003. Efecto de la densidad de plantación y de la frecuencia de corte en el rendimiento y valor nutritivo de *Morus multicaulis*. Pp 55 - 56. En: XXVIII Reunión anual Sociedad chilena de Producción Animal. Libro de resúmenes 2003. Escuela de Agronomía. Universidad Católica del Maule. Talca. Chile. 80 p.

ROSE, R., BIRCHER, T., PARDOS, M., Y ROYO, A.1998. La Plántula ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. Investigación Agraria: Sistemas y recursos forestales. 7 (1): 109 – 122.

ROSE, R., CARLSON, W. Y MORGAN, P. 1990. The Targey Seedling concept. pp 1-8. In: Rose, R., Campbell, J. Y Landis, T. EDS. Tanget Seedling Symposium. Proceedings, Combined meeting of the western forest nursery associations. USDA Forest Service General Technical Repert. RM N° 200.

SALISBURY, F. 1991. Fisiología vegetal., Iberoamericana, México. 579 p.

SÁNCHEZ, 1999. Morera: un forraje excepcional disponible mundialmente. [En línea]. [www.<fao.org/waicent/search/default.asp>](http://www.fao.org/waicent/search/default.asp). Consultado el 10 de enero de 2003.

SANDOVAL, S. 1997. Propagación vegetativa de *Eucalyptus globulus* a través de enraizamiento de estacas. Tesis Ingeniero Forestal, Chillán, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales, Chile. 50 p.

STRASBURGUER, E. 1994. Tratado de botánica. Omega, Barcelona. 1.068 p.

THOMPSON, J. Y SCHULTZ, R. 1995. Root System Morphology of *Quercus rubra* L. Planting stock and 3 year field performance in Lowwa. New Forest 9: 225-236.

WEAVER, R. 1976. Reguladores de crecimiento de las plantas en la agricultura. Trillas. México. 622 p.