

ENRAIZADO DE MINUESTACAS DE *Cedrela odorata* L.

Cedrela odorata L. MINI-CUTTING ROOTING

Salvador **Sampayo-Maldonado**¹, Marcos **Jiménez-Casas**^{1*}, Javier **López-Upton**¹, Vicente **Sánchez-Monsalvo**²,
Jesús **Jasso-Mata**¹, Armando **Equihua-Martínez**³, Carlos R. **Castillo-Martínez**⁴

¹Posgrado en Ciencias Forestales, ³Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. 56230. Carretera México-Texcoco, km. 36.5. Montecillo, Estado de México. (marcosjc@colpos.mx). ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental El Palmar. 68410. Tezonapa, Veracruz. ⁴Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG-INIFAP). 47600. Boulevard de la Biodiversidad #400. Tepatitlán, Jalisco, México.

RESUMEN

Para el establecimiento de plantaciones clonales de *Cedrela odorata* L. se requiere la propagación vegetativa masiva y económica. El sistema de enraizamiento de estacas cubre estos requerimientos, por lo que se necesita desarrollar protocolos apropiados. En este estudio se evaluaron los efectos del sustrato (agrolita y una mezcla de turba-agrolita-vermiculita 2:1:1), el tipo de estaca (basales, intermedias y apicales) y la concentración de ácido indolbutírico (AIB; 0, 1500, 5000 y 10 000 ppm) en el enraizamiento de estacas de *C. odorata*. Todas las estacas probadas tuvieron longitud mayor a 25 cm y diámetro de 1 cm. La interacción tipo de sustrato y AIB favorecerá, en diferente proporción, la producción de raíces adventicias según el tipo de estaca. El diseño experimental fue completamente al azar, con arreglo factorial y diez repeticiones. Después de 20 semanas el enraizamiento promedio fue 52.7 % de estacas. La agrolita aumentó más de 50 % el enraizamiento, respecto a la mezcla, y 1500 ppm de AIB favorecieron el enraizamiento en 73.3 %. Las estacas apicales tuvieron respuesta mayor al enraizamiento, pues aumentaron más de 50 % el número y la longitud de raíces adventicias, respecto a los otros dos tipos de estacas. Las interacciones entre los factores no fueron significativas; pero la combinación mejor, con 90 % de enraizamiento, fue estacas apicales con 1500 ppm de AIB, enraizadas en agrolita. Así, estas condiciones son las mejores para el enraizamiento de *C. odorata*.

Palabras clave: Cedro rojo, *Cedrela odorata*, propagación vegetativa, esqueje, clonación.

ABSTRACT

A massive and low-cost vegetation propagation is required to establish clonal plantations of *Cedrela odorata* L. Developing appropriate protocols is necessary to fulfill all the requirements of the cutting rooting system. This study evaluated the effects of the substrate (perlite and a 2:1:1 peat, perlite, and vermiculite mix), the type of cutting (basal, intermediate, and apical) and the concentration of indole-butyric acid (IBA; 0, 1500, 5000, and 10 000 ppm) in the rooting of *C. odorata* cuttings. All cuttings tested were at least 25 cm in length, and 1 cm in diameter. The substrate type-IBA interaction will improve, in a different ratio, the production of adventitious roots according to the type of cutting. Experimental design was completely random, in a factorial arrangement, with ten replications. After 20 weeks, the cuttings showed an average rooting of 52.7 %. Perlite increased rooting over 50 %, with regard to the mix; meanwhile an IBA of 1500 ppm favored a 73.3 % rooting. The best response to rooting came from apical cuttings: the number and length of adventitious roots increased over 50 %, in comparison with the other two types of cuttings. The interactions between factors were not significant; however, apical cuttings with an IBA of 1500 ppm, rooted in perlite, was the better combination, with a 90 % rooting. Therefore, these are the best conditions for *C. odorata* rooting.

Key words: American cedar, *Cedrela odorata*, vegetative propagation, cutting, cloning.

INTRODUCTION

Cutting rooting is the most important means of vegetative propagation and massive production. In trees, this allows the

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: noviembre, 2015. Aprobado: junio, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 50: 919-929. 2016.

INTRODUCCIÓN

El enraizamiento de estacas es el medio de propagación vegetativa y producción masiva más importante. En árboles permite transferir todo el potencial genético del material donante y generar uniformidad genética en los individuos obtenidos, entonces se captura y aprovecha la varianza genética total y se mantiene la ganancia genética mediante el mejoramiento genético (Zalesny *et al.*, 2003). Además el método tiene costo bajo, es rápido y sencillo (Capuana *et al.*, 2000; Husen, 2004; Tarragó *et al.*, 2005) y contrasta con la propagación *in vitro*, que requiere inversión mayor en infraestructura y equipo de laboratorio, medios de cultivo y protocolos especiales de trabajo (en particular con especies forestales). El enraizamiento de estacas consiste en obtener segmentos de ramas de un árbol y mantenerlas en condiciones ambientales favorables para inducir rizogénesis y organogénesis (Thanuja *et al.*, 2002; Husen y Pal, 2003; Liu *et al.*, 2012). En Chile, España, Portugal, China, Canadá, Brasil, Australia, Nueva Zelanda y EE.UU. este método se utiliza para desarrollar plantaciones clonales comerciales de *Pinus radiata* D. Don, *Pinus taeda* L., *Gmelina arborea* Roxb., *Populus*, *Platanus*, *Salix* y *Eucalyptus* (Beton *et al.*, 2011).

La capacidad de enraizamiento tiene relación directa con el estado de madurez de la planta madre, y la facilidad para formar raíces secundarias disminuye con la edad del material a propagar (Klein *et al.*, 2000). Para obtener brotes juveniles con capacidad mayor para enraizar se deben realizar podas (Ruíz *et al.*, 2005; Trobec *et al.*, 2005; Castillo *et al.*, 2013). El tejido juvenil responde mejor a los reguladores de crecimiento que el de células viejas y totalmente diferenciadas, probablemente porque las zonas del genoma que controlan la formación de órganos están menos reprimidas y pueden desbloquearse con los tratamientos con auxinas (Druege y Kadner, 2008; Klopotek *et al.*, 2010; Denaxa *et al.*, 2012).

Los factores genéticos y el estado fisiológico de las plantas controlan la inducción de raíces y los factores ambientales determinan su elongación (Thomas y Schiefelbein, 2002; Castrillón *et al.*, 2008). El éxito del enraizamiento de las estacas depende de la especie, la edad de la planta donadora, la sección de la rama de la que se extraigan las estacas, el medio de enraizamiento y los reguladores de crecimiento empleados (Itoh *et al.*, 2002; Klopotek *et al.*, 2012).

transfere de todo el potencial genético del material donante y la creación de uniformidad genética en los individuos resultantes. Subsecuentemente, la totalidad de la varianza genética es capturada y explotada y el beneficio genético se mantiene a través del mejoramiento genético (Zalesny *et al.*, 2003). Además, este es un método de bajo costo, relativamente rápido y sencillo (Capuana *et al.*, 2000; Husen, 2004; Tarragó *et al.*, 2005), y contrasta con la propagación *in vitro*, que requiere más inversión en infraestructura y equipo de laboratorio, medios de cultivo y protocolos especiales de trabajo (particularmente en el caso de especies forestales). El enraizamiento de estacas consiste en obtener segmentos de ramas de un árbol y mantenerlos en condiciones ambientales favorables, con el fin de inducir rizogénesis y organogénesis (Thanuja *et al.*, 2002; Husen y Pal, 2003; Liu *et al.*, 2012). En Chile, España, Portugal, China, Canadá, Brasil, Australia, Nueva Zelanda, y EE.UU., este método se utiliza para desarrollar plantaciones clonales comerciales de *Pinus radiata* D. Don, *Pinus taeda* L., *Gmelina arborea* Roxb., *Populus*, *Platanus*, *Salix*, y *Eucalyptus* (Beton *et al.*, 2011).

La capacidad de enraizamiento está directamente relacionada con la etapa de madurez de la planta madre, y la facilidad para formar raíces secundarias disminuye con la edad del material a propagar (Klein *et al.*, 2000). Para obtener brotes juveniles, es necesario podar las plantas con mayor capacidad de enraizamiento (Ruíz *et al.*, 2005; Trobec *et al.*, 2005; Castillo *et al.*, 2013). El tejido juvenil responde mejor al crecimiento que las células totalmente diferenciadas, probablemente porque las zonas del genoma que controlan la formación de órganos están menos reprimidas y pueden desbloquearse con los tratamientos con auxinas (Druege y Kadner, 2008; Klopotek *et al.*, 2010; Denaxa *et al.*, 2012).

Los factores genéticos y el estado fisiológico de las plantas controlan la inducción de raíces y los factores ambientales determinan su elongación (Thomas y Schiefelbein, 2002; Castrillón *et al.*, 2008). El éxito del enraizamiento de las estacas depende de la especie, la edad de la planta donadora, la sección de la rama de la que se extraigan las estacas, el medio de enraizamiento y los reguladores de crecimiento empleados (Itoh *et al.*, 2002; Klopotek *et al.*, 2012).

Los auxinos endógenos —que son translocados desde el meristemo apical hasta la base de la planta— son uno de los factores fisiológicos principales (Ruíz *et al.*, 2005). En algunas especies, estas compuestas endógenas no son suficientes para inducir el enraizamiento, y los auxinos exógenos deben ser aplicados. El ácido butírico de indol (IBA)

Entre los factores fisiológicos principales están las auxinas endógenas que son trasladadas del meristemo apical hacia la base de la planta (Ruíz *et al.*, 2005). En algunas especies estos compuestos endógenos no son suficientes para inducir enraizamiento y se deben aplicar auxinas exógenas. La auxina más usada es el ácido indolbutírico (AIB) y es necesario conocer la dosis adecuada (Ruíz *et al.*, 2005), la que se relaciona con el contenido endógeno, y, a la vez, con la posición original de la estaca en la planta.

Respecto a los factores ambientales, el tipo de sustrato que dará soporte y adherencia a las raíces se debe considerar. La formación de raíces requiere cantidades altas de oxígeno, por lo que los sustratos deben tener suficiente aire, permitir el intercambio de gases, tener drenaje, temperatura y pH adecuados y libres de patógenos (Bonfil *et al.*, 2007; Saranga y Cameron, 2007).

En México *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) es una especie prioritaria por su importancia industrial (Sánchez *et al.*, 2003; Ramírez *et al.*, 2008; Quinto *et al.*, 2009), y la más utilizada para plantaciones comerciales (CONAFOR, 2015). Pero *Hypsipyla grandella* (Zeller) puede dañar su desarrollo y limitar el éxito de las plantaciones comerciales (Navarro *et al.*, 2004). Árboles resistentes a la invasión de esta palomilla (Sánchez *et al.*, 2003) se detectaron y son candidatos para reproducirlos masivamente. El enraizamiento de estacas es una opción recomendable para multiplicar genotipos con características superiores (Marrón *et al.*, 2002; Kraiem *et al.*, 2010), pero no hay un protocolo para el enraizamiento de estacas de *C. odorata*.

Así, con la finalidad de desarrollar una metodología de propagación clonal mediante enraizamiento de estacas, se evaluó el efecto del ácido indolbutírico (AIB), la posición de la estaca en la planta y el tipo de sustrato en el enraizamiento de estacas juveniles de *C. odorata* en condiciones controladas de humedad y temperatura. La interacción tipo de sustrato y AIB favorecerá, en diferente proporción, la producción de raíces adventicias según el tipo de estaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y material vegetal

Para la producción de planta se usó semilla recolectada en mayo del 2012 de la familia 99 del huerto semillero ubicado en el Campo Experimental El Palmar, Veracruz, del Instituto

es the most frequently used auxin. It is necessary to know the appropriate dose (Ruíz *et al.*, 2005), which is related with the endogenous contents, and, at the same time, with the cutting's original position in the plant.

Regarding environmental factors, the type of substrate that will provide support and adhesion to the roots must be taken into consideration. Root formation requires high amounts of oxygen; therefore, substrate must have the following characteristics: enough aeration, gas exchange, appropriate drainage, appropriate temperature and pH, and being pathogen free (Bonfil *et al.*, 2007; Saranga and Cameron, 2007).

In Mexico, *Cedrela odorata* L. (American cedar) is one of the priority species, owing to its industrial importance (Sánchez *et al.*, 2003; Ramírez *et al.*, 2008; Quinto *et al.*, 2009), and is one of the most commonly used species in commercial plantations (CONAFOR, 2015). However, *Hypsipyla grandella* (Zeller) can damage its growth and limit successful commercial plantations (Navarro *et al.*, 2004). Trees capable of resisting this moth invasion (Sánchez *et al.*, 2003) were detected and they are candidates for massive reproduction. Cutting rooting is a recommendable option for the multiplication of genotypes with superior features (Marrón *et al.*, 2002; Kraiem *et al.*, 2010); however, there are no protocols for the rooting of *C. odorata* cuttings.

Therefore, with the aim of developing a clonal propagation methodology through cutting rooting, an evaluation was performed about the effect of indole-butyric acid (IBA), the position of the cutting in the plant and the type of substrate in the rooting of juvenile cuttings of *C. odorata*, in humidity and temperature controlled conditions. Substrate type-IBA interaction will improve, in a different ratio, the production of adventitious roots according to the type of cutting.

MATERIALS AND METHODS

Localization and vegetal material

The seeds of the 99 family used for plant production were gathered on May 2012, at the seed orchard of Campo Experimental El Palmar, in Veracruz, which belongs to the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. The seeds were sowed on April 2013, in a greenhouse of Colegio de Postgraduados, in Texcoco, Estado de México. A

Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. La siembra se realizó en abril de 2013 en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México. El sustrato fue una mezcla de turba, agrolita y vermiculita (2:1:1) en tubetes de polietileno de 1 L, y 10 g de fertilizante de liberación controlada por tubete. La germinación se inició a los 15 d, finalizó a los 35 d y alcanzó 95 %. Después se aplicaron riegos frecuentes y fungicida (captan® 1 g L⁻¹) cada mes a la planta.

Producción de miniestacas

Para estimular la formación de material juvenil se realizaron podas a los 6 y 12 meses, a 6 cm sobre el cuello de la planta. Para evaluar la incidencia de la posición de la estaca en el enraizado de cada brote se separaron las secciones apical, intermedia y basal. La longitud de los brotes seleccionados fue mayor a 25 cm y diámetro de 1 cm. Las hojas de cada vareta se cortaron y se obtuvieron tres estacas de 7 cm de longitud.

Preparación del sustrato

Los sustratos fueron: agrolita y la mezcla de turba, agrolita y vermiculita (2:1:1). Estos se esterilizaron 40 min con vapor de agua, se enfriaron y colocaron en la cámara para enraizamiento.

Establecimiento del experimento

En una cámara de enraizamiento semiautomática (2.7×1.2×0.7 m de longitud, anchura y altura) se controló el riego y la temperatura. El riego se programó para distribuir 2250 mL de agua destilada en 10 riegos por día. La humedad relativa se mantuvo sobre 80 % y la temperatura entre 18 y 25 °C en el día, y si llegaba a 25 °C un ventilador automático enfriaba a 18 °C la cámara.

Como testigo de asepsia, las estacas se colocaron 15 min en una solución de Captán® al 5 %. Para determinar las mejores dosis para enraizamiento se realizó una inmersión por 5 s en soluciones con 1500, 5000 y 10 000 ppm de Radix®, y como testigo se utilizó talco industrial.

Los sustratos se humedecieron con agua destilada y en hoyos de 4 cm de profundidad y espaciamento de 10×10 cm se colocaron las estacas presionando el sustrato alrededor de la estaca, sin dañar los tejidos.

Diseño experimental y evaluación de variables

El diseño experimental fue completamente al azar, con arreglo factorial 2×3×4: dos tipos de sustratos, tres

2:1:1 peat, perlite, and vermiculite mix was used as substrate; it was contained in 1 L. polyethylene forestry tray cells, with 10 g of controlled-release fertilizer per cell. Germination began on the 15th day, and was finished on the 35th day, with a 95 % growth. Subsequently, each month, frequent irrigation and fungicide (captan® 1 g L⁻¹) were applied to the plant.

Mini-cutting production

Pruning at 6 and 12 months were carried out to stimulate the growth of juvenile material, 6 cm over plant collar. In order to evaluate the impact of the cutting's position in the rooting of each bud, the apical, intermediate, and basal sections were separated. The selected buds were 25 cm in length, and 1 cm in diameter. The leaves of each twig were cut, and three 7 cm-long cuttings were obtained.

Substrate preparation

Substrate consisted of: perlite and 2:1:1 peat, perlite, and vermiculite mix. Both were sterilized for 40 minutes with water vapor; then, they were cooled and placed in a rooting chamber.

Establishing the experiment

Irrigation and temperature were controlled in a semiautomatic 2.7×1.2×0.7 meter rooting chamber. Irrigation was scheduled to distribute 2250 mL of distilled water in 10 daily irrigations. Relative humidity was kept over 80 % and temperature fluctuated between 18 and 25 °C during the day; when temperature reached 25 °C, an automatic fan cooled the chamber until temperature reached 18 °C.

As asepsis control, cuttings were placed in a 5 % Captán® solution during 15 min; then, to establish the best dose for rooting, cuttings were immersed in 1500, 5000 y 10 000 ppm of Radix® solutions, during 5 seconds; industrial talcum powder was used as control.

Substrates were humidified with distilled water. Cuttings were placed in 4 cm deep holes and with a 10×10 cm spacing, pressing the substratum around them, without damaging the tissues.

Experimental design and variables evaluation

This experiment had a completely random design, with a 2×3×4 factorial arrangement, as follows: two types of substrate, three cutting cut position, and four different IBA concentrations. Ten repetitions were established (10 cuttings per treatment, 240 in total). The experiment was carried out during the fall-winter

posiciones de corte de la estaca y cuatro concentraciones de AIB. Hubo diez repeticiones (10 estacas por tratamiento, 240 estacas en total). El experimento se realizó en el periodo otoño-invierno (del 26 de agosto de 2014 al 13 de enero de 2015), con evaluaciones periódicas se monitoreó la presencia de patógenos, y 20 semanas después se evaluó el porcentaje de estacas vivas, estacas enraizadas por tratamiento, número y longitud de raíces de primero y segundo orden por estaca.

Previo al análisis de varianza, la variable en porcentaje (Y) se transformó con la función arcoseno de la raíz cuadrada del valor original expresado en fracción decimal [$T = \arcseno(\sqrt{Y})$]. El número de raíces se transformó con la función logaritmo, [$T = \log_{10}(Y)$], los valores promedio se retransformaron a las unidades originales, con la función [$Y = 100 \text{ seno}^2(T)$] para la variable porcentaje y con la función [$Y = 10^T$] para la variable de conteo (Itoh *et al.*, 2002; Syros *et al.*, 2004; Muñoz *et al.*, 2009). Las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los análisis se realizaron con SAS para computadora personal (SAS Institute, Inc., 2004).

Para obtener los estimadores de varianza y del error para cada variable se realizó el análisis estadístico con el modelo lineal siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + E_i + D_j + S_k + ED_{ij} + ES_{ik} + DS_{jk} + EDS_{ijk} + E_{ijkl} \quad (1)$$

donde: Y_{ijkl} es la variable respuesta del i -ésimo tipo de estaca, con la j -ésima dosis de AIB, en el k -ésimo tipo de sustrato; μ es el promedio general; E_i es el efecto fijo del i -ésimo tipo de estaca (apical, intermedia y basal); D_j es el efecto fijo de la j -ésima dosis de AIB (0, 1500, 5000 y 10 000 ppm); S_k es el efecto fijo del k -ésimo tipo de sustrato (mezcla turba-agrolita-vermiculita 2:1:1 *vs.* agrolita); ED_{ij} es la interacción entre la i -ésimo tipo de estaca y la j -ésima dosis de AIB; ES_{ik} es el efecto de la interacción entre el i -ésimo tipo de estaca y del k -ésimo tipo de sustrato; DS_{jk} es el efecto de la interacción entre la j -ésima dosis de AIB y del k -ésimo tipo de sustrato; EDS_{ijk} es la interacción entre el i -ésimo tipo de estaca, la j -ésima dosis de AIB y el k -ésimo tipo de sustrato; y E_{ijkl} es el error aleatorio correspondiente a la observación Y_{ijkl} .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto del sustrato, dosis de AIB y tipo de estaca fue significativo ($p \leq 0.05$) en la supervivencia, el enraizamiento y la morfología de las estacas, pero no hubo efecto en sus interacciones (Cuadro 1).

season (August 26th 2014 - January 13th 2015); the presence of pathogens was monitored by means of regular evaluation, and 20 weeks later the percentage of live cuttings, cuttings rooted by treatment, the number and length of primary and secondary roots per cutting were evaluated.

Prior to analyzing variance, the variable expressed as a percentage (Y) was transformed with the arccosine function of the square root of the original value expressed as a decimal fraction [$T = \arcseno(\sqrt{Y})$]. The number of roots was transformed using the [$T = \log_{10}(Y)$] logarithm function, the average values were transformed back to the original units, using the [$Y = 100 \text{ seno}^2(T)$] function for the percentage variable and the [$Y = 10^T$] function for the count variable (Itoh *et al.*, 2002; Syros *et al.*, 2004; Muñoz *et al.*, 2009). Treatments means were compared using Tukey test ($p \leq 0.05$). Analysis were carried out with SAS for personal computers (SAS Institute, Inc., 2004).

An statistical analysis —using the following linear model— was carried out to obtain variance and error estimators for each variable:

$$Y_{ijkl} = \mu + E_i + D_j + S_k + ED_{ij} + ES_{ik} + DS_{jk} + EDS_{ijk} + E_{ijkl} \quad (1)$$

where: Y_{ijkl} is the response variable of i^{th} type of cutting, with the j^{th} IBA dose, in the k^{th} type of substrate; μ is general average; E_i is the fixed effect of i^{th} type of cutting (apical, intermediate, and basal); D_j is the fixed effect of the j^{th} IBA dose (0, 1500, 5 000 y 10 000 ppm); S_k is the fixed effect of the k^{th} type of substrate (2:1:1 peat, perlite, and vermiculite mix *vs.* perlite); ED_{ij} is the interaction between the i^{th} type of cutting and the j^{th} IBA dose; ES_{ik} is the effect of the interaction between the i^{th} type of cutting and the k^{th} type of substrate; DS_{jk} is the effect of the interaction between the j^{th} IBA dose and the k^{th} type of substratum; EDS_{ijk} is the interaction between the i^{th} type of cutting, the j^{th} IBA dose, and the k^{th} type of substrate; and, E_{ijkl} is the random error related to Y_{ijkl} observation.

RESULTS AND DISCUSSION

The effect of substrate, IBA dose, and type of cutting was significant ($p \leq 0.05$) in the cuttings' survival, rooting and morphology. However, there was no effect in their interactions (Table 1).

Effect of the substrate

The highest survival and rooted cuttings percentage occurred with perlite (Table 2). Perlite increased rooting and survival, in comparison with

Cuadro 1. Valores de probabilidad (p) en el análisis de varianza de las variables de enraizamiento en estacas de *Cedrela odorata* L.**Table 1. Probability values (p) in the variance analysis of rooting variables in *Cedrela odorata* L. cuttings.**

Fuente de variación	Superv. (%)	Estacas (%) enraizadas	Número de raíces		Longitud de raíces	
			Prim.	Secun.	Prim.	Secun.
Sustrato	0.0001 [†]	0.0001 [†]	0.4196	0.4462	0.0012 [†]	0.0749
Dosis de AIB	0.0316 [†]	0.0454 [†]	0.0141 [†]	0.0079 [†]	0.0707	0.4370
Tipo de estaca	0.0072 [†]	0.0453 [†]	0.0327 [†]	0.0073 [†]	0.0037 [†]	0.0894
Sustrato*Dosis	0.9793	0.8502	0.8174	0.5978	0.0786	0.2898
Sustrato*Estaca	0.6807	0.6850	0.1459	0.0841	0.1377	0.0043 [†]
Dosis*Estaca	0.2164	0.0513	0.8958	0.9438	0.9267	0.6807
Sustrato*Dosis*Estaca	0.7858	0.7998	0.3844	0.4060	0.1985	0.3051

[†]Diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Superv: supervivencia, Prim: raíces de primer orden, Secun: Raíces de segundo orden ♦ Significant differences ($p \leq 0.05$). Sur: survival, Prim: primary roots, Second: secondary roots.

Efecto del sustrato

Los mayores porcentajes de supervivencia y de estacas enraizadas se obtuvieron con agrolita (Cuadro 2). La agrolita incrementó el enraizamiento y la supervivencia, respecto a la mezcla (turba-agrolita-vermiculita 2:1:1), en proporción dos a uno. En la mezcla la longitud en las raíces de primer orden fue mayor que en la agrolita, en proporción dos a uno.

El mejor enraizamiento en agrolita se debe a sus características físicas, como porosidad, aireación, drenaje y pH (Saranga y Cameron, 2007). Según Bonfil *et al.* (2007), un sustrato debe suministrar humedad continua, mantener temperatura moderada y permitir aireación adecuada. La agrolita muestra estas características, por lo que favorece el enraizamiento de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham. (Cuevas *et al.*, 2015), *Pinus pinaster* Ait. (Majada *et al.*, 2010), *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* Little & Dorman, *Pinus caribea* var. *hondurensis* Barr. & Golf. (Hunt *et al.*, 2011), *Juniperus scopulorum* Sarg. y *Thuja occidentalis* L. (Bielenin, 2003).

Efecto de la dosis de AIB

Mil quinientas ppm de AIB aumentaron 10 % el enraizamiento respecto al testigo; dosis mayores lo disminuyeron, probablemente por toxicidad. Según Mesén *et al.* (1997), algunas especies forestales no toleran concentraciones mayores a 2000 ppm; es el caso de *Eucalyptus*, *Cupressus lusitánica*

the 2:1:1 peat, perlite, and vermiculite mixture, in a two to one ratio. Primary root length was greater with mixture than with perlite, in a two to one ratio.

The best rooting with perlite is the result of its physical features, such as porosity, aeration, drainage, and pH (Saranga and Cameron, 2007). Bonfil *et al.* (2007), in order to keep moderate temperatures and to allow appropriate aeration, a substratum must provide constant humidity. Perlite has these features, which favour the rooting of: *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham. (Cuevas *et al.*, 2015); *Pinus pinaster* Ait. (Majada *et al.*, 2010); *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* Little & Dorman, *Pinus caribea* var. *hondurensis* Barr. & Golf. (Hunt *et al.*, 2011), *Juniperus scopulorum* Sarg., and *Thuja occidentalis* L. (Bielenin, 2003).

Effect of the IBA dose

In comparison with control, a 1500 ppm IBA increased rooting by 10 %; higher doses decreased it, probably as a result of toxicity. According to Mesén *et al.* (1997) some forestry species—such as *Eucalyptus*, *Cupressus lusitánica* Mill., *Alnus acuminata* Kunth y *Tectona grandis* L. (Husen y Pal, 2003)—do not tolerate concentrations higher than 2000 ppm. With a IBA of 1500 ppm, the number of primary and secondary roots was three times and twice than in the control group. The length of primary and secondary roots did not have a significant effect ($p > 0.05$) with IBA, in comparison with the control group. However, there was more than 30 % difference

Cuadro 2. Valor promedio y error estándar para cada factor y tratamiento en el enraizamiento de estacas de *Cedrela odorata* L. a las 20 semanas.**Table 2. Average value and standard error for each factor and treatment in the *Cedrela odorata* L. cutting rooting (20 weeks).**

Factor	Superv. (%)	Estacas enraizadas (%)	Número de raíces		Longitud de raíces (mm)	
			Primarias	Secundarias	Primarias	Secundarias
Sustratos						
Mezcla	38.3±4.8 b	32.5±4.7 b	14.9±6.6 a	11.8±1.7	684±66 a	73±35 a
Agrol.	82.5±3.9 a	79.1±4.1 a	12.1±2.0 a	10.2±1.5	347±68 b	59±28 a
CV (%)	8.4	8.7	10.5	8.6	8.6	4.8
Dosis de AIB (ppm)						
0	66.6±3.8 b	63.3±4.9 b	4.8±3.46 b	5.2±1.7 b	356±237	62±23 a
1500	75.0±3.6 a	73.3±3.6 a	14.2±2.7 ab	11.5±3.8 ab	640±205	71±39 a
5000	48.3±9.3 c	43.3±.4.7 c	21.2±3.4 a	16.4±1.4 a	538±178	67±32 a
10 000	41.6±4.6 c	31.6±4.8 c	11.1±2.5 ab	9.5±1. ab	292±202	53±28 a
CV(%)	9.1	9.5	9.6	7.9	8.9	4.9
Tipo de estaca						
Apical	68.7±4.5 a	66.2±4.8 a	21.3±5.5 a	16.7±4.8 a	705±149 a	75±09 a
Inter.	55.0±5.3 b	52.5±8.1 b	8.9±4.5 b	7.1±3.3 b	390±165 b	60±08 a
Basal	35.0±11.8 c	32.5±4.8 c	4.4±2.6 b	5.3±2.8 b	148±156 b	50±16 a
CV (%)	9.1	9.5	9.1	7.2	8.0	4.7
Prom.	56.7	52.7	12.5	10.4	4.55	0.63

Letras diferentes en una columna, para cada factor, indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$). Superv: supervivencia, mezcla: turba-agrolita-vermiculita 2:1:1 v/v, Agrol: agrolita, ppm: partes por millón, CV: coeficiente de variación, Inter: intermedia, Prom: promedio general. ♦ Different letters in a column, for each factor, indicate statistically significant differences ($p \leq 0.05$). Superv: survival, mixture: 2:1:1 peat, perlite and vermiculite v/v, Agrol: perlite, ppm: parts per million, CV: coefficient of variation, Inter: intermediate, Prom: General average.

Mill., *Alnus acuminata* Kunth y *Tectona grandis* L. (Husen y Pal, 2003). Con 1500 ppm de AIB el número de raíces de primero y segundo orden fue tres veces y el doble que en el testigo. La longitud de las raíces de primer y segundo orden no cambió ($p > 0.05$) con el AIB, respecto al testigo. Pero en la supervivencia de estacas hubo más de 30 % de diferencia ($p \leq 0.05$) con el mejor y peor tratamiento.

Con la dosis de 5000 ppm el número de raíces de primero y segundo orden fue cinco y tres veces mayor ($p \leq 0.05$) que en el testigo. Esto se debió a que después de que la estaca enraíza dosis crecientes de AIB aumentan el transporte de sustancias hacia la base de la estaca, con lo que aumenta el desarrollo de más raíces (Mesén *et al.*, 1997).

Con 10 000 ppm se obtuvo el porcentaje menor de estacas enraizadas (Cuadro 2), atribuible a la intoxicación por auxinas. Las estacas sin AIB tuvieron dos veces más enraizamiento que con 10 000 ppm; esto indica que las estacas contienen auxinas endógenas en cantidad suficiente para promover el enraizamiento.

($p \leq 0.05$) in cutting survival between the best and worst treatments.

With a 5000 ppm dose, the number of primary and secondary roots was five and three times higher ($p \leq 0.05$) than the control group. Once cuttings have established their roots, enhanced IBA doses increase the transportation of substances towards the cutting's base, as a result of which more roots are developed (Mesén *et al.*, 1997).

The lowest percentage of rooted cuttings was obtained with 10 000 ppm (Table 2), attributable to auxin intoxication. Cuttings without IBA showed two times more rooting than with 10 000 ppm; this indicates that cuttings have enough endogenous auxins to foster rooting.

Auxins foster adventitious root development in cutting rooting (Bielenin, 2003; Castrillón *et al.*, 2008; Kumar *et al.*, 2011). Castillo *et al.* (2013) suggest using IBA in species with difficult rooting. Rooted cuttings percentage showed significant differences ($p \leq 0.05$) between IBA doses. Auxins stimulated cambium activity and reserve mobilization towards

Las auxinas promueven el desarrollo de raíces adventicias en el enraizamiento de estacas (Bielenin, 2003; Castrillón *et al.*, 2008; Kumar *et al.*, 2011). Castillo *et al.* (2013) recomendaron el uso de AIB para especies en las que el enraizamiento se califica como difícil. En el porcentaje de estacas enraizadas hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las dosis de AIB. Las auxinas estimularon la actividad del cámbium y la movilización de reservas hacia el sitio de iniciación de raíces (Dhillon *et al.*, 2011). El AIB mejoró el enraizamiento en *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa. (Aparicio *et al.*, 2006), *Viccinium meridionale* Swartz (Castrillón *et al.*, 2008), *Taxus globosa* Schltdl. (Muñoz *et al.*, 2009), *Olea europaea* L. (Denaxa *et al.*, 2012) y *Gmelina arborea* Roxb. (Ruíz *et al.*, 2005).

Efecto de la posición de las miniestacas

Los porcentajes de supervivencia y enraizado fueron 20 y 50 % superiores en las estacas apicales que en las intermedias y las basales (Cuadro 2). Las estacas apicales favorecieron dos veces más cantidad de raíces de primero y segundo orden que las intermedias y cuatro veces más que las basales. Además, las apicales tuvieron longitud de raíces de primer orden dos veces mayor que las intermedias del brote, que fue la segunda mejor. En la longitud de raíces de segundo orden no hubo diferencias.

La estaca apical presentó el enraizamiento mejor, que podría deberse a alguna condición fisiológica o anatómica asociada con la presencia de yemas. De acuerdo con Hartmann *et al.* (2013) las estacas apicales enraizan mejor que las laterales, porque las yemas apicales son productoras de auxinas abundantes y estimulan el desarrollo radical (Moore, 1984). Ruíz *et al.* (2005) señalaron que el grado de juvenilidad, la lignificación del tejido, el contenido de reservas y en particular el nivel endógeno de fitohormonas son factores involucrados en la capacidad mayor de enraizado de estacas apicales de *Gmelina arborea*.

En algunos casos las estacas basales enraizan mejor, como en *Populus* con el doble, respecto a las estacas intermedias y apicales (Zalesny *et al.*, 2003). Las estacas basales de *P. leiophylla* tienen 3.5 más probabilidad de éxito en el enraizamiento (Cuevas *et al.*, 2015). La causa de esta variación entre especies se desconoce y se debe investigar. En nuestro estudio las estacas apicales tuvieron respuesta mejor de enraizamiento, pero no se descarta usar estacas basales para

the place where roots begin (Dhillon *et al.*, 2011). IBA improves rooting in *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa (Aparicio *et al.*, 2006); *Viccinium meridionale* Swartz (Castrillón *et al.*, 2008); *Taxus globosa* Schltdl. (Muñoz *et al.*, 2009); *Olea europaea* L. (Denaxa *et al.*, 2012), and *Gmelina arborea* Roxb. (Ruíz *et al.*, 2005).

Effect of the position of mini-cuttings

Survival and rooting percentages of apical cuttings were 20 and 50 % higher, respectively, than those of intermediate and basal cuttings (Table 2). Apical cuttings favored the amount of primary and secondary roots—twice and four times, respectively—with regard to intermediate and basal cuttings. Additionally, the primary roots of apical cuttings were twice longer than intermediates (which was the second best). There were no differences with regard to the length of secondary roots.

Apical cutting showed the best rooting, perhaps because of some physiological or anatomical condition related to the presence of leaf buds. According to Hartmann *et al.* (2013), apical cuttings root better than lateral cuttings, because apical leaf buds produce plentiful auxins, and stimulate radical development (Moore, 1984). Ruíz *et al.* (2005) noted that the degree of juvenility, tissue lignification, reserves content, and, in particular, the level of endogenous phytohormones are the factors involved in enhancing the rooting capacity of *Gmelina arborea* apical cuttings.

In some cases, basal cuttings root better, like in *Populus*, where it doubles intermediate and apical cuttings (Zalesny *et al.*, 2003). Cuevas *et al.* (2015) noted that the rooting of *P. leiophylla* basal cuttings is 3.5 more likely to succeed. The reason for this variation between species is unknown, and it is yet to be researched. In this study, although apical cuttings had the best rooting response, using basal cuttings to propagate *C. odorata* select clones has not been rejected. However, increasing the rooting of basal cuttings percentage requires constant experimentation; therefore, most of the material would be used to maximize plant production.

Effect of the interaction between factors

Only the substrate-type of cutting interaction showed a significant effect in the length of secondary

propagación de clones selectos de *C. odorata*. La experimentación debería continuar para aumentar los porcentajes de enraizamiento de estacas basales y se aprovecharía la mayoría del material para maximizar la producción de planta.

Efecto de la interacción entre factores

Sólo la interacción del sustrato por el tipo de estaca mostró efecto significativo en la longitud de raíces de segundo orden (Cuadro 1). La combinación de la estaca apical con el sustrato (turba-agrolita-vermiculita 2:1:1) propició la longitud mayor de raíces de segundo orden, 96 ± 11 mm. La longitud de la raíz decreció gradualmente con el tipo de la estaca, mayor en las apicales a menor en las basales; la reducción fue mayor en la longitud de raíces en la mezcla (estacas de posición intermedia; Figura 1).

La longitud de las raíces inducidas en las estacas puede indicar la velocidad de enraizamiento, las más largas tuvieron menos tiempo para enraizar (Ruiz *et al.*, 2005). En nuestro estudio, probablemente las raíces secundarias de las estacas apicales aparecieron primero en el sustrato de la mezcla que en la agrolita. Esto podría ser una ventaja porque disminuiría la estadía de las estacas en el módulo de propagación, los riesgos de contaminación y los costos de mantenimiento. Pero este sustrato todavía no se recomienda porque se desconoce si la longitud de raíces de las estacas establecidas en agrolita pueden alcanzar el tamaño que en la mezcla en una o dos semanas.

Estos resultados indican que la propagación vegetativa de *C. odorata* mediante el enraizamiento de estacas tiene gran potencial. Más investigación sería necesaria para determinar si el porcentaje de enraizamiento mayor se logra en menos tiempo. También podrían evaluarse otras concentraciones de AIB, alrededor de los 1500 ppm, otros clones de calidad superior y secciones apicales.

CONCLUSIONES

La agrolita, como sustrato, favorece el enraizamiento y supervivencia de las estacas. Dosis de 1500 ppm de AIB incrementa la capacidad de enraizamiento de las estacas; pero, dosis mayores la inhiben. La posición apical de las estacas favorece la supervivencia y enraizado, con raíces de primero

roots (Table 1). The combination of apical cutting with substrate (2:1:1 peat, perlite, and vermiculite mix) favored longer secondary roots, 96 ± 11 mm. Root length decreased gradually according to the type of cutting, from the longest (apical) to the shortest (basal); however, root length decrease was greater with mixture (intermediate position cuttings; Figure 1).

The root length induced in cuttings can show the speed of rooting; the longest cuttings had less time to put down roots (Ruiz *et al.*, 2005). In our study, the secondary roots of apical cuttings probably appeared first in the mixture's substrate than in the perlite. This could prove advantageous, as it would decrease the time that the cuttings stay in the propagation unit, the contamination risks, and the maintenance costs. However, this substrate is still not recommended, because it is still not known if the length of cutting roots established in perlite can reach the size than those in the mixture, in one or two weeks.

These results show that there is a big potential for *C. odorata* vegetal propagation through cutting rooting. More research is necessary to determine if the greatest rooting percentage can be achieved in less time. Other IBA concentrations (around 1500 ppm), high quality clones, and apical sections could also be evaluated.

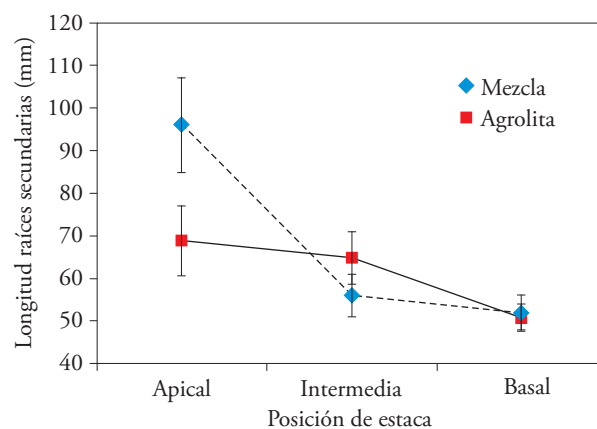


Figura 1. Interacción de la posición de la estaca y el sustrato en la longitud de raíces secundarias. Cada punto representa el promedio con la desviación estándar.

Figure 1. Interaction of cutting position and substrate in the length of secondary roots. Each point represents the average with the standard deviation.

y segundo orden. Así, la combinación mejor para el enraizamiento es la posición apical y 1500 ppm de AIB.

LITERATURA CITADA

- Aparicio R., A., V. Rebolledo C., y H. Cruz J. 2006. Multiplicación clonal de *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa a través de la técnica de enraizamiento de estacas. Foresta Veracruzana 8: 19-22.
- Bedon, F., J. Majada, I. Feito, P. Chaumeil, J. W. Dupuy, A. M. Lomenech, A. Barre, J. M. Gion, and C. Plomion. 2011. Interaction between environmental factors affects the accumulation of root proteins in hydroponically grown *Eucalyptus globulus* (Labill.). Plant Physiol. Biochem. 49: 69-76.
- Bielenin, M. 2003. Rooting and gas exchange of conifer cuttings treated with indolbutyric acid. J. Fruit Ornam. Plant Res. 11: 99-105.
- Bonfil S., C., P. E. Mendoza H., and J. A. Ulloa N. 2007. Root and callus development in cuttings of seven species of the genus *Bursera*. Agrociencia 41: 103-109.
- Castillo F., J. D., M. A. López L., J. López U., V. M. Cetina A., and T. Hernández T. 2013. Influence factors in rooting of cuttings of *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. Rev. Chapingo, Ser. Cien. Forestales Amb. 19: 175-184.
- Castrillón, J. C., E. Carvajal, G. Ligarreto, y S. Magnitskiy. 2008. El efecto de auxinas sobre el enraizamiento de las estacas de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) en diferentes sustratos. Agron. Colomb. 26: 16-22.
- Capuana, M., A. Giovannelli, and R. Giannini. 2000. Factors influencing rooting in cutting propagation of cypress (*Cupressus sempervirens* L.). Silvae Genetica 49: 277-281.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2015. Principales especies maderables establecidas en plantaciones forestales comerciales 2000-2014. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/43/6018Principales%20especies%20maderables%20establecidas%20en%20PFC%20por%20a%c3%b1o%20en%202000%20-%202014.pdf>. (Consulta: Mayo 2015).
- Cuevas C., J. C., M. Jiménez C., J. Jasso M., P. Pérez R., J. López U., y A. Villegas M. 2015. Propagación asexual de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham. Rev. Chapingo Ser. Cien. Forestales Amb. 21: 81-95.
- Denaxa, N. K., S. N. Vemmos, and P. A. Roussos. 2012. The role of endogenous carbohydrates and seasonal variation in rooting ability of cuttings of an easy and a hard to root olive cultivars (*Olea europaea* L.). Sci. Hort. 143: 19-28.
- Dhillon, R. S., M. S. Hooda, J. S. Pundeer, K. S. Ahlawat, and I. Chopra. 2011. Effects of auxins and thiamine on the efficacy of techniques of clonal propagation in *Jatropha curcas* L. Biomass Bioenerg. 35: 1502-1510.
- Druege, U., and R. Kadner. 2008. Response of post-storage carbohydrate levels in pelargonium cuttings to reduced air temperature during rooting and the relationship with leaf senescence and adventitious root formation. Postharvest Biol. Tec. 47: 126-135.
- Hartmann, H. T., D. E. Kester, F. T. Davies, and R. L. Geneve. 2013. Plant Propagation: Principles and Practices. 8th ed. Pearson Education Limited, New Jersey, USA. 913 p.
- Hunt, M. A., J. T. Stephen, and A. Rasmussen. 2011. Indol-3-butyric acid accelerates adventitious root formation and impedes shoot growth of *Pinus elliottii* var. *elliottii* and *P. caribaeae* var. *hondurensis* cutting. New Forest 41: 349-360.
- Husen, A., and M. Pal. 2003. Clonal propagation of teak (*Tectona grandis* Linn. f.): Effect of IBA application and adventitious root regeneration on vertically split cuttings. Silvae Genet. 52: 173-176.
- Husen, A. 2004. Clonal propagation of *Dalbergia sissoo* Roxb. by softwood nodal cuttings: Effects of genotypes, application of IBA and position of cuttings on shoots. Silvae Genet. 53: 50-55.
- Itoh, A., T. Yamakura, M. Kanzaki, T. Ohkubo, P. A. Palmiotto, J. V. LaFrankie, J. J. Kendawang, and H. S. Lee. 2002. Rooting ability of cuttings relates to phylogeny, habitat preference and growth characteristics of tropical rainforest trees. Forest Ecol. Manag. 168: 275-287.
- Klein, J. D., S. Cohen, and Y. Hebbe. 2000. Seasonal variation in rooting ability of myrtle (*Myrtus communis* L.) cuttings. Short communication. Sci. Hort. 83: 71-76.
- Klopotek, Y., K. T. Haensh, B. Hause, M. R. Hajirezaei, and U. Druege. 2010. Dark exposure of petunia cuttings strongly improves adventitious root formation and enhances carbohydrate availability during rooting in the light. J. Plant Physiol. 167: 547-554.
- Klopotek, Y., E. George, U. Druege, and H. P. Klaering. 2012. Carbon assimilation of petunia cuttings in a non-disturbed rooting environment: Response to environmental key factors and adventitious root formation. Sci. Hort. 145: 118-126.
- Kraiem, Z., W. A. Wannes, A. Zairi, and B. Ezzili. 2010. Effect of cutting date and position on rooting ability and fatty acid composition of Carignan (*Vitis vinifera* L.) shoot. Sci. Hort. 125: 146-150.
- Kumar, D., S. Singh, R. Sharma, V. Kumar, H. Chandra, and K. Malhotra. 2011. Above-ground morphological predictors of rooting success in rooted cuttings of *Jatropha curcas* L. Biomass Bioenerg. 35: 3891-3895.
- Liu, D. D., Q. L. Dong, C. Sun, Q. L. Wang, C. Y. You, Y. X. Yao, and Y. J. Hao. 2012. Functional characterization of an apple apomixes-related MhFIE gene in reproduction development. Plant Sci. 185-186: 105-111.

CONCLUSIONS

Perlite, like substrate, favors the rooting and survival of cuttings. A 1500 ppm IBA dose increases the rooting capacity of cuttings; however, a higher dose inhibit it. With regard to primary and secondary roots, the apical position of cuttings favors survival and rooting. Therefore, the best combination for rooting is the apical position with an 15 000 ppm IBA.

—End of the English version—



- Majada, J., A. C. Martínez, F. Isabel, K. I. A. Angelo, and A. Ricardo. 2010. Mini-cuttings: an effective technique for the propagation of *Pinus pinaster* Ait. *New Forest* 41: 399-412.
- Marrón, N., D. Delay, J. M. Petit, E. Dreyer, G. Kahlem, F. M. Delmotte, and F. Brignolas. 2002. Physiological traits of two *Populus* × *euramericana* clones, Luisa Avanzo and Dorskamp, during a water stress and re-watering cycle. *Tree Physiol.* 22: 849-858.
- Mesén, F., A. C. Newton, and R. B. Leakey. 1997. Vegetative propagation of *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Oken: the effects of IBA concentration, propagation medium and cutting origin. *Forest Ecol. Manag.* 92: 45-54.
- Moore, G. M. 1984. Mechanisms of hormone action in plants. *Int. Plant Propagator's Soc.* 34: 79-90.
- Muñoz G., L., J. J. Vargas H., J. López U., and M. Soto H. 2009. Effect of cutting age and substrate temperature on rooting of *Taxus globosa*. *New Forest* 38: 187-196.
- Navarrete L., M., y J. J. Vargas H. 2005. Propagación asexual de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Utilizando rádix en diferentes concentraciones. *Rev. Chapingo Serie Ciencias For. Amb.* 11: 111-116.
- Navarro, C., F. Montagnini, and G. Hernández. 2004. Genetic variation of *Cedrela odorata* Linnaeus: results of early performance of provenances and families from Mesoamerica grown in association with coffee. *Forest Ecol. Manag.* 192: 217-227.
- Quinto, L., P. A. Martínez H., L. Pimentel B., y D. A. Rodríguez T. 2009. Alternativas para mejorar la germinación de semillas de tres árboles tropicales. *Rev. Chapingo Serie Ciencias For. Amb.* 15: 23-28.
- Ramírez G., C., G. Vera C., F. Carrillo A., y O. S. Magaña T. 2008. El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) como alternativa de reconversión en terrenos abandonados por la agricultura comercial en el Sur de Tamaulipas. *Agr. Téc. Méx.* 34: 243-256.
- Ruíz G., R., J. J. Vargas H., V. M. Cetina A., y A. Villegas M. 2005. Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y tipo de estaca en el enraizado de *Gmelina arborea* Roxb. *Rev. Fitotec. Mex.* 28: 319-326.
- Sánchez M., V., J. G. Salazar G., J. J. Vargas H., J. López U., and J. Jasso M. 2003. Genetic parameters and response to selection for growth traits in *Cedrela odorata* L. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 19-27.
- Saranga, J., and R. Cameron. 2007. Adventitious root formation in *Anacardium occidentale* L. in response to phytohormones and removal of roots. *Sci. Hort.* 111: 164-172.
- SAS Institute, Inc. 2004. SAS/STAT 9.1 Guide for Personal Computers. SAS Institute Inc. Cary, N.C. 378 p.
- Syros, T., T. Yupsanis, H. Zafiriadis, and A. Economou. 2004. Activity and isoforms of peroxidases, lignin and anatomy, during adventitious rooting in cuttings of *Ebenus cretica* L. *J. Plant Physiol.* 161: 69-77.
- Tarragó, J., P. Sansberro, R. Filip, P. López, A. González, C. Luna, and L. Mroginski. 2005. Effect of leaf retention and flavonoids on rooting of *Ilex paraguariensis* cuttings. *Sci. Horticulturae* 103: 479-488.
- Thanuja, T. V., R. V. Hedge, and M. N. Sreenivasa. 2002. Induction of rooting and root growth in black pepper cuttings (*Piper nigrum* L.) with the inoculation of arbuscular mycorrhizae. *Sci. Hort.* 92: 339-346.
- Thomas, P., and J. Schiefelbein. 2002. Cloning and characterization of an actin depolymerizing factor gene from grape (*Vitis vinifera* L.) expressed during rooting in stem cuttings. *Plant Sci.* 162: 283-288.
- Trobec, M., F. Štampar, R. Veberič, and G. Osterc. 2005. Fluctuations of different endogenous phenolic compounds and cinnamic acid in the first days of the rooting process of cherry rootstock 'GiSela 5' leafy cuttings. *J. Plant Physiol.* 162: 589-597.
- Zalesny Jr, R. S., R. B. Hall, E. O. Bauer, and D. E. Riemenschneider. 2003. Shoot position affects root initiation and growth of dormant unrooted cuttings of *Populus*. *Silvae Genet.* 52: 273-279.