



**Supervivencia y crecimiento radicular en estaquillas tiernas y lignificadas de cedro limón con diferentes sustratos y enraizantes**  
**Survival and root growth of tender and lignified lemon cypress cuttings with different substrates and rooting agents**

José Ángel Prieto-Ruíz<sup>1</sup>, Alberto Pérez-Luna<sup>2,3</sup>, Miguel Ángel Manríquez-Santillán<sup>1</sup>, José Ciro Hernández-Díaz<sup>4</sup>, Eusebio Montiel-Antuna<sup>1</sup>, Jesús Alejandro Soto-Cervantes<sup>2\*</sup>

Fecha de recepción/Reception date: 10 de enero de 2022

Fecha de aceptación/Acceptance date: 18 de julio de 2022

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

<sup>2</sup>Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

<sup>3</sup>Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios Número 89, Dirección General de Educación Tecnológica Industrial, Durango. México.

<sup>4</sup>Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

\*Autor para correspondencia; correo-e: [alejandro.soto@ujed.mx](mailto:alejandro.soto@ujed.mx)

\*Corresponding author; e-mail: [alejandro.soto@ujed.mx](mailto:alejandro.soto@ujed.mx)

## Resumen

El enraizado de estaquillas permite propagar plantas de ornato difíciles de reproducir por semilla. El cedro limón (*Cupressus macrocarpa* var. *lutea*) es muy utilizado con fines ornamentales. Se evaluó el efecto de tres factores sobre la supervivencia y el crecimiento de la raíz primaria de esta especie: dos sustratos (mezcla base y perlita), cuatro enraizantes (Radix<sup>®</sup> 1 500, Radix<sup>®</sup> 10 000, Raizone<sup>®</sup> Plus y Raizplant<sup>®</sup> 500) y testigo (sin enraizante), y dos estados de madurez de las estaquillas (tiernas y lignificadas). El diseño experimental fue de bloques al azar con arreglo factorial 2×5×2. La evaluación se hizo a los cuatro meses del inicio del enraizado. Las variables se analizaron con las pruebas de *Kruskal Wallis* y de *Dunn* para comparar medianas pareadas y se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de medianas de *Dunnnett*. Se obtuvieron diferencias significativas para la supervivencia por efecto del enraizante y la madurez de las estaquillas, además de la triple interacción de los factores evaluados. La supervivencia mayor (45 %) se logró al utilizar perlita más Radix<sup>®</sup> 1 500 y estaquillas lignificadas. El crecimiento más grande de la raíz primaria se registró sin enraizante y con estaquillas tiernas (11.75 cm) y lignificadas (10.87 cm), independientemente del sustrato. Aunque, el crecimiento de raíz fue superior sin enraizante, se recomienda usar Radix<sup>®</sup> 1 500 para promover la formación de callo y garantizar mayor supervivencia. El sustrato, enraizante y tipo de estaquilla influyen en la supervivencia y el crecimiento de la raíz primaria de estaquillas de cedro limón.

**Palabras clave:** Ácido indol-3-butírico, *Cupressus macrocarpa* Hartw. ex Gord. var. *lutea* Topacio, madurez de estaquillas, plantas de ornato, propagación vegetativa, reproducción asexual.

## Abstract

The rooting of cuttings allows propagation of ornamental plants that are difficult to reproduce from seeds. Lemon cypress (*Cupressus macrocarpa* var. *lutea*) is widely used for ornamental purposes. In this work, the effect of three factors on the survival and primary root growth of lemon cypress: two substrates (base mix and perlite), four rooting agents (Radix<sup>®</sup> 1 500, Radix<sup>®</sup> 10 000, Raizone<sup>®</sup> Plus and Raizplant<sup>®</sup> 500) and control (without rooting agent), and two maturity stages of the cuttings (tender and lignified). The experimental design was a randomized block design with a factorial arrangement 2×5×2. The evaluation was made at four months from the start of the rooting. The variables were analyzed with the *Kruskal Wallis* and *Dunn* tests to compare paired medians and the *Dunnnett* multiple comparison of medians test was applied. Significant differences were obtained for survival due to the rooting agent and the maturity of the cuttings, as well as the triple interaction of the evaluated factors. The highest survival (45 %) was achieved by using perlite plus Radix<sup>®</sup> 1 500 and lignified cuttings. The largest primary root growth was recorded without rooting agent and with tender (11.75 cm) and lignified (10.87 cm) cuttings, independently of the substrate. Although, root growth was superior without rooting agent, it is recommended to use Radix<sup>®</sup> 1 500 to promote callus formation and ensure higher survival. The substrate, rooting agent and cutting type influence survival and primary root growth of lemon cypress cuttings.

perlite), four rooting agents (Radix® 1 500, Radix® 10 000, Raizone® Plus and Raizplant® 500), and control (no rooting agent), plus two maturity conditions of the cuttings (tender and lignified) were assessed. The treatments were distributed in a randomized block design, with a 2×5×2 factorial arrangement. The evaluation was carried out four months after the rooting started. The response variables were statistically analyzed with the Kruskal Wallis test and Dunn's test to compare paired medians; in addition, the Dunnett's test of multiple comparisons of medians was applied. Significant differences were obtained for survival from the rooting effect and maturity of cuttings, in addition to the triple interaction of the assessed factors. The highest survival (45 %) was achieved by using perlite plus Radix® 1 500 on lignified cuttings. The largest primary root growth was recorded without rooting and with tender (11.75 cm) and lignified (10.87 cm) cuttings, regardless of the substrate. Although root growth was superior without rooting, it is recommended to use Radix® 1 500 to promote callus formation and ensure better survival. The substrate, rooting media, and the maturity of cuttings influence the survival and primary root growth of lemon cypress cuttings.

**Key words:** Indole-3-butyric acid, *Cupressus macrocarpa* Hartw. ex Gord. var. *lutea* Topacio, maturity of the cuttings, ornamental plants, vegetative propagation, asexual reproduction.

## Introducción

La propagación vegetativa consiste en una serie de prácticas que permiten clonar plantas a partir de células y embriones (micropropagación), hojas, ramas y raíces (macropropagación) (Hartmann *et al.*, 2010). A pesar de que las técnicas de enraizado de estacas o esquejes, injertos y acodos se emplean desde hace más de 3 000 años (Mudge *et al.*, 2009), los avances más relevantes en esta área han ocurrido a partir de inicios del siglo XX (Oseni *et al.*, 2018).

Aunque la producción de planta forestal por semillas es más sencilla y económica que la reproducción asexual, en ocasiones esta alternativa es necesaria, sobre todo en especies con producción escasa o nula de semilla viable (Bailey *et al.*, 2009). El enraizado de estacas es un método para propagar árboles adultos de forma asexual a un costo bajo, a diferencia del injertado y los acodos (Pérez-Luna *et al.*, 2019). La propagación vegetativa mediante estacas enraizadas se recomienda en especies de fácil reproducción asexual, para la producción masiva de plantas de ornato y de árboles frutales (Iglesias *et al.*, 1996), e incluso para programas de plantaciones forestales comerciales (Cuevas-Cruz *et al.*, 2015).

El cedro limón (*Cupressus macrocarpa* Hartw. ex Gord. var. *lutea* Topacio) es una especie de alto valor ornamental (Somerville, 1993), de importancia medicinal

(Salem *et al.*, 2018) y con alto potencial para establecer plantaciones forestales de árboles de Navidad (Petit-Aldana *et al.*, 2010). Sin embargo, es un taxón de difícil reproducción por medios tradicionales (semilla), por lo cual es necesario desarrollar métodos de propagación vegetativa para reproducirla masivamente, como lo recomiendan Bailey *et al.* (2009) para especies que presentan esta dificultad en su propagación.

En México, el precio de venta del cedro limón donde no se produce es elevado, principalmente debido al transporte (Cabrera *et al.*, 2007). Esto ocurre en sitios lejanos al centro del País, como en el estado de Durango, donde pese al costo alto, la especie es ampliamente usada con fines ornamentales en áreas urbanas, por ello, se buscan alternativas para reproducirlo localmente y disminuir costos. El objetivo de el presente trabajo fue evaluar el efecto de dos tipos de sustrato, la aplicación de cuatro hormonas comerciales (además del testigo) y la condición de madurez de estaquillas, en la propagación vegetativa de *Cupressus macrocarpa* (cedro limón). Se parte de la hipótesis de que al menos una combinación de sustrato y enraizante, así como la condición de desarrollo de la ramilla, favorece más a la supervivencia y crecimiento de la raíz de estaquillas enraizadas de cedro limón.

## **Materiales y Métodos**

### **Lugar de desarrollo del experimento**

El experimento se realizó en el vivero forestal "Sahuatoba", perteneciente a la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Gobierno del estado de

Durango, ubicado en las coordenadas 24°01'34.4" N y 104°41'34.3" O, a 1 890 m de altitud, anexo al parque Sahuatoba en la ciudad de Durango, México.

La propagación se desarrolló en un área de aclimatación de planta forestal, cubierta por malla sombra con filtración de luz al 50 %. Las estaquillas se colocaron en envases de polietileno negro, de 12.7 cm de diámetro×20 cm de largo y 2.5 L de capacidad, las cuales se llenaron con los sustratos por evaluar. En cada envase se colocaron 20 estaquillas para generar una unidad experimental. Los envases se pusieron en el suelo sobre una base de plástico blanco.

## **Recolección y preparación de las de estaquillas y origen de las plantas madre**

Las estaquillas se recolectaron a mediados del mes de abril de 50 plantas madre de ocho años de edad, reproducidas en envases de 38.2 cm de diámetro y 60.0 cm de altura, con 68.7 L de capacidad. Estas plantas se produjeron en el vivero forestal "Praxedis Guerrero", perteneciente a la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Gobierno del estado de Durango, ubicado en las coordenadas 23°57'01.0" N y 104°34'08.6" O, a 1 883 m de altitud, en el kilómetro 12 de la carretera Durango-El Mezquital, Durango, México.

Las estaquillas se recolectaron a mediados del mes de abril de la parte media de la copa, en brotes nuevos (estaquillas tiernas) y de un año de edad (estaquillas lignificadas); una vez cortadas, para mantenerlas hidratadas y prevenir daños por hongos, se colocaron y transportaron a granel en cubetas de 20 L con agua y fungicida Captán® (2 gL<sup>-1</sup>) y se pusieron a enraizar a las 20 horas de su recolecta. Se seleccionaron plantas madre vigorosas, con follaje abundante y con copa simétrica y uniforme.

Para preparar el material vegetativo, se hizo un corte transversal en la parte inferior de cada estacilla con tijeras de podar, lo que dejó expuesto el cambium en la base. Durante el prendimiento se evaluaron tres factores: a) cuatro enraizadores y un testigo, b) dos condiciones de madurez de las estaquillas, y c) dos tipos de sustratos. En total se evaluaron 20 tratamientos (5×2×2) con cuatro repeticiones (Cuadro 1). Cada unidad experimental estuvo compuesta por 20 estaquillas.

**Cuadro 1.** Tratamientos evaluados en la supervivencia y crecimiento de raíz de las estaquillas de *Cupressus macrocarpa* Hartw. ex Gord. var. *lutea* Topacio.

Tratamiento	Sustrato	Enraizante	Condición de madurez de la estacilla
1	Mezcla base (55 % turba+24 % vermiculita+21 % perlita)	Radix® 10 000	Tierna
2			Lignificada
3		Radix® 1 500	Tierna
4			Lignificada
5		Raizone®	Tierna
6			Lignificada
7		Raizplant®	Tierna
8			Lignificada
9		Testigo	Tierna
10			Lignificada
11	Perlita	Radix® 10 000	Tierna
12			Lignificada
13		Radix® 1 500	Tierna
14			Lignificada
15		Raizone®	Tierna
16			Lignificada
17		Raizplant®	Tierna
18			Lignificada
19		Testigo	Tierna
20			Lignificada

Tres enraizantes en polvo, con diferente concentración de ácido indol-3-butírico (AIB) se evaluaron: Radix® 1 500 (0.15 % de AIB), Radix® 10 000 (1 % de AIB) y Raizone® Plus (0.06 % de AIB). También, se evaluó un enraizante líquido (Raizplant® 500) que contiene una combinación de compuestos fitohormonales con concentración de 0.05 % y un testigo (sin enraizante). Los enraizantes se impregnaron en los primeros 5 cm de la punta de cada estaquilla. Las condiciones de madurez consideradas fueron: estaquillas tiernas (obtenidas del último crecimiento) y lignificadas (colectadas del crecimiento del año anterior). Como sustrato se utilizó: perlita al 100 % y mezcla base (compuesta por 55 % turba esfangosa [*peat moss*], 24 % vermiculita y 21 % perlita).

Los riegos se realizaron cada tercer día de forma manual con una regadera de plástico genérico y 7 L de capacidad; a cada unidad experimental se le aplicaron 2 L de agua por riego. La temperatura y humedad relativa se midieron con un termohigrómetro marca HOBO® de máximas y mínimas, registrándose los siguientes valores: temperatura máxima 31.2 °C, temperatura mínima 22.8 °C, temperatura media 26.9 °C, humedad relativa máxima 76 %, humedad relativa mínima 58 % y humedad relativa media 69 %. Durante los cuatro meses de evaluación se hicieron tres registros diarios de temperatura y humedad relativa.

A los cuatro meses de establecidas las estaquillas, se registró: a) supervivencia, y b) longitud de la raíz primaria de las estaquillas enraizadas. Para evaluar la supervivencia de cada estaquilla, se observó si tenía tejido vivo. Para medir la raíz primaria, se extrajeron del envase todas las estaquillas enraizadas (Figura 1).



**Figura 1.** Extracción de las estaquillas para evaluar el crecimiento de raíz primaria.

## Análisis estadístico

Los resultados de supervivencia y crecimiento de raíz se analizaron con las pruebas de *Shapiro-Wilks* y *Kolmogorov-Smirnov* para determinar el tipo de estadística a emplear. Al no detectar una distribución normal de los datos de supervivencia y crecimiento de raíz, se realizó la prueba no paramétrica de *Kruskal Wallis* para determinar posibles diferencias significativas entre los factores evaluados (tipo de sustrato, tipo de enraizante y condición del desarrollo de las estaquillas); asimismo, se aplicó la prueba *post hoc* de *Dunn* para comparar medianas apareadas, con el método de *Bonferroni*.

El efecto de la interacción entre los factores evaluados sobre la supervivencia y el crecimiento de raíz se analizó con la prueba de medianas de *Dunnett*. Estos análisis se hicieron en la plataforma del *software* estadístico R® versión 3.5.3 (R Core Team, 2020).

## Resultados y Discusión

### Supervivencia y crecimiento de raíz por factor

Diferencias estadísticas ( $p=5.3 \times 10^{-5}$ ) se observaron en la supervivencia por efecto del tipo de enraizante y por la condición de madurez de la estaquilla, situación que no sucedió debido al sustrato ( $p=0.92$ ). También, se registraron diferencias significativas en el crecimiento de la raíz primaria por efecto de la condición de madurez de las estaquillas ( $p=2.8 \times 10^{-9}$ ), el tipo de sustrato ( $p=5 \times 10^{-4}$ ) y el tipo de enraizante ( $p=0.008$ ).



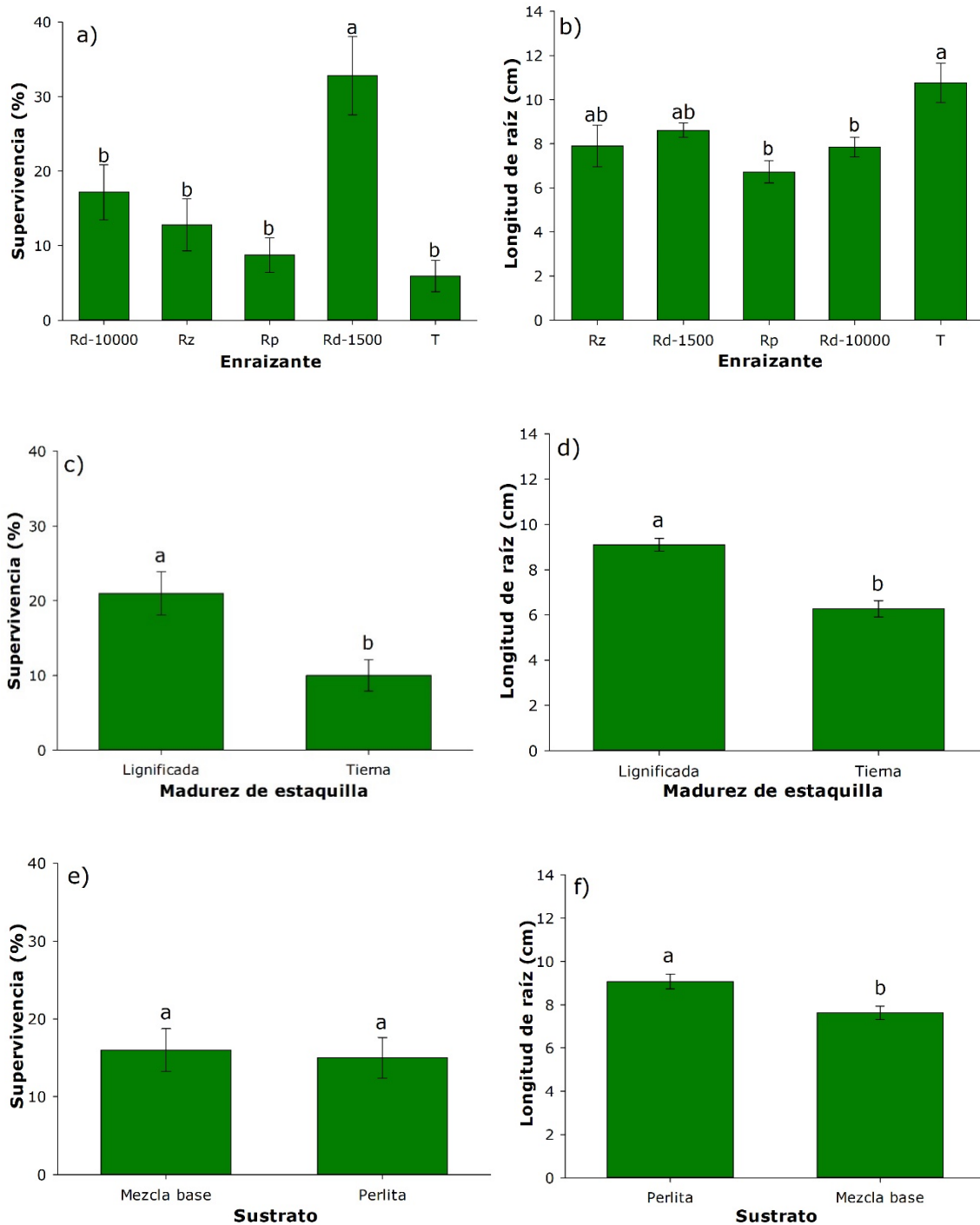
La comparación de medianas de *Bonferroni* mostró diferencias significativas en cuanto a la supervivencia de las estaquillas en las siguientes comparaciones: Raizone® Plus vs Radix® 1 500, Radix® 1 500 vs Raizplant® 500 y Radix® 1 500 vs testigo. Respecto al crecimiento de la raíz, se observaron diferencias significativas en las siguientes comparaciones: Raizone® Plus vs testigo, Raizplant® 500 vs Testigo y *Radix*® 10 000 vs testigo (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Comparación de medianas de *Dunn* con el método de *Bonferroni* en la supervivencia y crecimiento de raíz de estaquillas de *Cupressus macrocarpa* Hartw. ex Gord. var. *lutea* Topacio por efecto del tipo de enraizante.

Comparación	Supervivencia		Crecimiento de raíz	
	Valor de Z	Valor de p	Valor de Z	Valor de p
Raizone® Plus vs Radix® 1 500	-3.03	0.02	-1.07	1.00
Raizone® Plus vs Raizplant® 500	0.68	1.00	0.43	1.00
Radix® 1 500 vs Raizplant® 500	3.71	0.002	1.84	0.65
Raizone® Plus vs Radix® 10 000	-1.11	1.00	-0.46	1.00
Radix® 1 500 vs Radix® 10 000	1.91	0.54	0.87	1.00
Raizplant® 500 vs Radix® 10 000	-1.79	0.71	-1.07	1.00
Raizone® Plus vs Testigo	1.51	1.00	-2.83	0.04
Radix® 1 500 vs Testigo	4.54	5.44×10 <sup>-5</sup>	-2.67	0.07
Raizplant® 500 vs Testigo	0.82	1.00	-3.44	0.005
Radix® 10 000 vs Testigo	2.62	0.08	-2.95	0.03

En cuanto al enraizante utilizado, la mayor supervivencia se obtuvo en estaquillas enraizadas con Radix® 1 500 (32.8 %); el resto de los tratamientos se ubicó en el siguiente grupo estadístico: Radix® 10 000 (17.2 %), Raizone® 500 (12.8 %), Raizplant® 500 (8.7 %) y testigo (5.9 %) (Figura 2a). El mayor crecimiento de raíz primaria se observó en las estaquillas sin enraizante (testigo), con longitud promedio de 10.75 cm. El grupo intermedio estuvo compuesto por las estaquillas enraizadas en Radix® 1 500 y Raizone® 500, con crecimientos de raíz de 8.61 y 7.89 cm, respectivamente. Los menores crecimientos de la raíz se obtuvieron en estaquillas enraizadas con Radix® 10 000 y Raizplant® 500, con 7.84 y 6.73 cm (Figura 2b).





**Figura 2.** Supervivencia y crecimiento de la raíz primaria de estaquillas de *Cupressus macrocarpa* Hartw. ex Gord. var. *lutea* Topacio, por efecto de tres

factores: a) y b) por el tipo de enraizante; c) y d) por la condición de madurez de la estaquilla; y e) y f) por el tipo de sustrato.

Rd-10 000 = Radix® 10 000; Rz = Raizone® Plus; Rp = Raizplant® 500; Rd-1 500 = Radix® 1 500; T = Testigo. Letras diferentes en minúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ) según la prueba de medianas de *Dunn*.

Por efecto de la madurez de las estaquillas, la supervivencia en las lignificadas fue de 21 %, mientras que en las tiernas fue de 10 % (Figura 2c). Según Shiembo *et al.* (1997), las estaquillas tiernas presentan mayor generación natural de auxina, y al aumentar la concentración de dicha hormona por la aplicación de AIB, la toxicidad aumenta en forma considerable, lo que provoca mayor mortalidad de estaquillas. La longitud de la raíz en estaquillas lignificadas fue de 9.1 cm, en tanto que en estaquillas tiernas fue de 6.2 cm (Figura 2d).

Respecto al tipo de sustrato, no hubo diferencias estadísticas en la supervivencia entre las estaquillas enraizadas en mezcla base (16 %) y en perlita (15 %) (Figura 2e). En cambio, el crecimiento de la raíz fue superior en las estaquillas enraizadas en perlita (9.07 cm), con relación a las enraizadas en la mezcla base (7.63 cm) (Figura 2f).

En un estudio de enraizado de estacas de *Cupressus cashmeriana* Royle ex Carrière se compararon estaquillas tiernas y lignificadas, la supervivencia fue mayor en las lignificadas (52.8 % vs 31.9 %) (Raup y Taylor, 2012). En contraste, Lahiri (1975) citó para la misma especie una supervivencia menor a 5 % en el enraizado de estacas lignificadas.

En el enraizado de estacas de especies leñosas se ha señalado que a mayor madurez de los tejidos, después de hacer los cortes (heridas) de la estaca, existe más producción de auxina, fitohormona promotora del crecimiento vegetal e importante para generar raíces (Scalabrelli y Couvillon, 1986).

La producción de auxina durante el enraizado promueve la generación de callo, lo cual favorece la supervivencia de las estacas (Mackenzie *et al.*, 1986) y la proliferación de raíces (Cabrera *et al.*, 2022).

En un estudio de enraizado de *Cupressus macrocarpa* Hartw. ex Gord. var. *goldcrest*, Mamani y Fernández (2017) lograron 27.8 % de supervivencia cuando las estacas se propagaron en un medio que contenía turba esfangosa, carbón vegetal y limo en partes iguales. La supervivencia atribuida al sustrato en el presente estudio fue considerablemente menor, con valores de 16 % tanto para perlita, como para la mezcla base. Lo anterior puede deberse a que la perlita presenta más porosidad y aireación, lo cual evita el exceso de humedad, disminuye la presencia de hongos y propicia la formación de raíces (Rivera-Rodríguez *et al.*, 2016).

Rosier *et al.* (2004a) evaluaron la supervivencia en estacas enraizadas de *Pinus virginiana* Mill. al aplicar 10 y 60 mMol de AIB, que representa 0.2 y 1.2 % de AIB por litro de solución, respectivamente, y obtuvieron una supervivencia de 85 y 55 %. En el enraizado de estacas de *Abies fraseri* (Pursh) Poir., se documenta una supervivencia de 100, 97 y 77.5 % al emplear concentraciones de 10 mMol (0.2 % AIB), 1 mMol (0.02% AIB) y 60 mMol (1.2 % AIB), respectivamente (Rosier *et al.*, 2004b).

La mayor supervivencia obtenida en el presente trabajo, con una dosis intermedia de AIB (0.05 %), indica que la concentración de hormona debe ser lo suficientemente alta, pero sin excesos que afecten en forma negativa la supervivencia, la cual podría aumentar debido a la toxicidad generada por el enraizante sobre las estaquillas. Este efecto fue observado por Bautista-Ojeda *et al.* (2022) en el enraizado de estacas de *Pinus patula* Schiede ex Schldl. et Cham., quienes indican una supervivencia de 56.7 % al emplear un enraizante con concentración de 0.5 % de AIB. Saini (2001) también observó toxicidad causada por alta concentración de AIB, pues determinó que la supervivencia de estacas enraizadas de *Cupressus cashmeriana* fue menor a 50 % cuando aplicó enraizante con más de 0.8 % de AIB, mientras que al usar concentraciones menores a 0.5 % de AIB, la supervivencia fue superior a 70 %.

En el enraizado de estacas de *Pinus virginiana* se obtuvo el mayor crecimiento de raíz (60 cm) al aplicar altas concentraciones de AIB (60 mMol–1.2 %) (Rosier *et al.*, 2004a). Este resultado contrasta con los del presente estudio, en el que se registran diferencias significativas al comparar el crecimiento de raíz de estaquillas sin enraizante (testigo) y estaquillas con concentración de 0.8 % de AIB (Raizplant® 500) y 0.05 % de auxinas, citocininas y giberelinas (Raizone® Plus). De acuerdo a Benítez *et al.* (2002), el éxito del

enraizado es superior en especies de maderas semiduras; esto explicaría el mayor crecimiento en raíces de *P. virginiana*, cuya densidad de la madera varía de  $0.61 \text{ g cm}^{-3}$  (McCormack *et al.*, 2012) en comparación con *Cupressus macrocarpa*, la cual tiene una densidad media de la madera de  $0.436 \text{ g cm}^{-3}$  (Todoroki *et al.*, 2015).

El crecimiento de la raíz fue mayor en estaquillas con el enraizante de 0.15 % de AIB (Radix® 1 500), comparado con el logrado con los enraizantes con más concentración de AIB (Raizone® Plus con 0.8 % de AIB y Radix® 10 000 con 1 % de AIB), lo cual es la respuesta a una aparente toxicidad sobre la especie en estudio ante la presencia de altas concentraciones de hormona inducida por el enraizante (Blythe *et al.*, 2007). El mayor crecimiento en raíz de las estacas sin enraizante (testigo), podría deberse a que algunas especies generan suficientes fitohormonas de forma natural para lograr el enraizado (Valdés *et al.*, 2003).

Mamani y Fernández (2017) observaron crecimiento de raíz promedio de 7.19 cm a los cinco meses del estaqueado al enraizar estacas de *Cupressus macrocarpa* var. *goldcrest* en un sustrato con turba esfangosa. En el enraizado de *Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parl. se reportó un crecimiento de raíz de 6.28 cm a los tres meses del estaqueado al usar como sustrato una combinación de arcilla, turba esfangosa y arena en una relación 2:7:3 (Spanos *et al.*, 1999). Los resultados de estos autores son similares al promedio obtenido en el presente trabajo, si se considera que el periodo de evaluación fue similar con la mezcla base, y su respuesta se explicaría porque esta mezcla, que incluye turba esfangosa, es un sustrato que tiene buena porosidad, brinda soporte a la planta y tiene buenos niveles de drenado y aireación, características fundamentales para favorecer la propagación de especies forestales (Hartmann *et al.*, 2010).

## **Supervivencia y crecimiento de raíz por efecto de la interacción entre factores**

Diferencias estadísticas significativas se registraron en la supervivencia ( $p=0.008$ ) y en el crecimiento de raíz ( $p=0.028$ ) de las estaquillas por efecto de la triple interacción entre los factores de los tratamientos evaluados (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Promedio ( $P$ ), mediana ( $M$ ), errores estándar ( $EE$ ) y comparación de medianas ( $CM$ ) de supervivencia y crecimiento de raíz de estaquillas de *Cupressus macrocarpa* Hartw. ex Gord. var. *lutea* Topacio por efecto de la interacción entre los diferentes niveles de los factores evaluados.

Tratamiento	Sustrato	Enraizante	Condición de desarrollo de la estaquilla	Supervivencia (%)				Crecimiento de raíz (cm)			
				$P$	$M$	$EE$	$CM$	$P$	$M$	$EE$	$CM$
1	Mezcla base	Radix® 10 000	Lignificada	27.50	22.5	11.99	abcd	8.37	7.00	0.61	b
2			Tierna	18.75	17.50	6.25	abcd	3.44	3.50	0.60	c
3		Radix® 1 500	Lignificada	36.25	37.50	10.68	abc	8.64	6.50	0.66	b
4			Tierna	37.50	35.00	8.54	ab	6.78	5.20	0.54	b
5		Raizone®	Lignificada	10.00	7.50	6.12	bcd	6.56	6.15	1.20	b
6			Tierna	5.00	5.00	2.04	cd	4.06	2.70	1.36	c
7		Raizplant®	Lignificada	15.00	15.00	2.89	abcd	6.89	5.95	0.74	b
8			Tierna	1.25	0.00	1.25	d	6.60	6.60	0.40	b
9		Testigo	Lignificada	6.25	5.00	1.25	bcd	10.47	8.55	3.46	b
10			Tierna	2.50	0.00	2.50	d	11.75	14.10	3.15	a
11	Perlita	Radix® 10 000	Lignificada	17.50	15.00	2.50	abcd	8.67	8.10	0.77	b
12			Tierna	5.00	5.00	0.08	cd	6.97	4.75	2.34	b
13		Radix® 1 500	Lignificada	45.0	42.50	12.42	a	10.23	9.05	0.52	b
14			Tierna	12.5	12.50	3.23	bcd	4.85	4.00	0.63	c
15		Raizone®	Lignificada	31.25	30.00	6.57	bcd	10.09	10.70	1.59	b
16			Tierna	5.00	5.00	2.04	cd	5.85	3.65	2.80	b
17		Raizplant®	Lignificada	7.50	7.50	3.23	bcd	5.54	5.60	0.78	b
18			Tierna	11.25	7.50	7.18	bcd	7.35	6.70	1.08	b
19		Testigo	Lignificada	13.75	12.50	6.88	abcd	10.87	11.20	0.96	a
20			Tierna	1.25	0.00	1.25	d	8.30	8.30	2.80	b

Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ( $p<0.05$ ) entre interacciones según la prueba de medianas de *Dunnnett*.

La mejor supervivencia se obtuvo con el tratamiento 13: estaquillas lignificadas-perlita-Radix® 1 500 (0.15 % de AIB), en el siguiente nivel, se ubicó el tratamiento 4 con 37.5 %, cuyo factor común con el tratamiento superior es el enraizante Radix® 1 500, lo que indica que este fue importante en el enraizamiento de las estaquillas. La supervivencia de los tratamientos 1, 2, 3, 4, 7, 11, 15 y 19 coincide entre ellos en algún grupo estadístico, e incluso con el tratamiento 13 al relacionarse a grupos intermedios. De esos tratamientos, 77.8 % tuvieron en común el uso de estaquillas lignificadas. Los valores más bajos de supervivencia (1.2 a 1.5 %) ocurrieron en los tratamientos 8, 10 y 20, en los que el factor común fueron las estaquillas tiernas; en dos de ellos no se aplicó enraizante y en dos el sustrato fue mezcla base (Cuadro 3).

En el enraizado de estacas semilignificadas de *Pinus virginiana* (Rosier *et al.*, 2004a) y estacas lignificadas de *Abies fraseri* (Rosier *et al.*, 2004b) propagadas en un sustrato compuesto por 60 % de perlita y 40 % de turba esfangosa, registraron una supervivencia superior a 90 % y mayor a 85 %, respectivamente, cuando se usó una concentración baja de AIB (5 mMol=0.1 % AIB). Estos resultados coinciden con los del presente estudio, al menos en la interacción del enraizante con baja concentración de AIB (0.15 %) y las estaquillas lignificadas.

El crecimiento de la raíz sobresalió, estadísticamente, en los tratamientos 10 (estaquillas tiernas propagadas en mezcla base) y 19 (estaquillas lignificadas propagadas en perlita), ambos caracterizados por carecer de enraizante; los demás tratamientos tuvieron un efecto similar en el crecimiento de la raíz.

Rosier *et al.* (2004a; 2004b) evidenciaron mayor crecimiento de la raíz en estaquillas tiernas de *Pinus virginiana* cuando se utilizó una mezcla base y una dosis baja de AIB (6 mMol=0.12 % AIB). También lograron buen desarrollo de la raíz en estaquillas tiernas de *Abies fraseri* con una dosis baja (12 mMol=0.24 % AIB). Los crecimientos de la raíz en estas dos especies fueron de 1.94 y 7.13 cm a los cuatro meses del estaqueado. Esos resultados y los documentados en el presente trabajo, muestran que la baja concentración de AIB favorece el crecimiento de la raíz en estaquillas tiernas y lignificadas de especies de

coníferas como lo señalan Castro-Garibay *et al.* (2019), quienes indican que altas concentraciones de AIB pueden inhibir el crecimiento de las raíces.

Debido a que las interacciones con más crecimiento de la raíz primaria no coinciden con las de mayor supervivencia, entre ambas alternativas es deseable garantizar más número de estaquillas vivas; en ese sentido, Cabrera *et al.* (2022) documentan que el material vegetativo enraizado puede nutrirse y aplicarle hormonas para promover el desarrollo radicular. Por otra parte, el objetivo del enraizamiento de estaquillas es la clonación masiva de árboles adultos (Medina *et al.*, 2014). Por esa razón, el uso de perlita como sustrato, complementado con Radix® 1 500 en el enraizado de estaquillas lignificadas de cedro limón, permitirá mayor supervivencia de las mismas, lo cual facilitará obtener material vegetativo abundante para producir plantas de ornato (Cabrera *et al.*, 2007).

## Conclusiones

Los factores evaluados (sustrato, enraizante y madurez de la estaquilla), influyen significativamente en la supervivencia y crecimiento de la raíz de estaquillas de *Cupressus macrocarpa* var. *lutea*. El uso de perlita, AIB al 0.15 % y estaquillas lignificadas, es la combinación de factores que más favorece la supervivencia de las estaquillas. El mayor crecimiento longitudinal de la raíz primaria coincide con la ausencia de enraizante (testigo) y con estaquillas tiernas y lignificadas, sin importar el sustrato utilizado.

## Agradecimientos



A la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Durango por aportar los insumos para el presente estudio; al M. C. José Ignacio Quiñones Díaz por el apoyo en la logística para el desarrollo del experimento.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### **Contribución por autor**

José Ángel Prieto-Ruíz: diseño metodológico y supervisión de la investigación, verificación de resultados y revisión del manuscrito; Alberto Pérez-Luna: análisis estadístico, interpretación de resultados y revisión del manuscrito; Miguel Ángel Manríquez-Santillán: ejecución de la investigación, captura de datos y redacción del manuscrito; José Ciro Hernández-Díaz: diseño experimental y revisión del manuscrito; Eusebio Montiel-Antuna: revisión del manuscrito; Jesús Alejandro Soto-Cervantes: análisis estadístico e interpretación de resultados y revisión del manuscrito.

### **Referencias**

- Bailey, J. P., K. Bímová and B. Mandák. 2009. Asexual spread versus sexual reproduction and evolution in Japanese Knotweed *s.l.* sets the stage for the "Battle of the Clones". *Biological Invasions* 11(5):1189-1203. Doi: [10.1007/s10530-008-9381-4](https://doi.org/10.1007/s10530-008-9381-4).
- Bautista-Ojeda, G. I., J. J. Vargas-Hernández, M. Jiménez-Casas y M. C. G. López-Peralta. 2022. Manejo de planta y aplicación de AIB en el enraizado de estacas de *Pinus patula*. *Madera y Bosques* 28(1):e2812060. Doi: [10.21829/myb.2022.2812060](https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812060).

Benítez P., D., F. Flores V. y J. I. Valdez H. 2002. Reproducción vegetativa de dos especies arbóreas en un manglar de la costa norte del Pacífico mexicano. *Madera y Bosques* 8(2):57-71. Doi: [10.21829/myb.2002.821301](https://doi.org/10.21829/myb.2002.821301).

Blythe, E. K., J. L. Sibley, K. M. Tilt and J. M. Ruter. 2007. Methods of auxin application in cutting propagation: a review of 70 years of scientific discovery and commercial practice. *Journal of Environmental Horticulture* 25(3):166-185. Doi: [10.24266/0738-2898-25.3.166](https://doi.org/10.24266/0738-2898-25.3.166).

Cabrera R., J., F. Martínez M. y L. Granada C. 2007. Producción de cedro limón *Cupressus macrocarpa* var. Goldcrest en Morelos. Folleto Técnico Núm. 29. INIFAP-Campo Experimental Zacatepec. Zacatepec, Mor. México. 18 p.

Cabrera R., R., M. Jiménez C., M. Á. López L. y J. P. Parra P. 2022. Manejo nutrimental de árboles de pino híbrido y uso de ácido indolbutírico para su clonación por estacas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13(69):132-154. Doi: [10.29298/rmcf.v13i69.1070](https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i69.1070).

Castro-Garibay, S. L., A. Villegas-Monter y R. Contreras-Maya. 2019. Enraizamiento de estacas en tres cultivares de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.). *Agroproductividad* 12(3):63-68. Doi: [10.32854/agrop.v0i0.1328](https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1328).

Cuevas-Cruz, J. C., M. Jiménez-Casas, J. Jasso-Mata, P. Pérez-Rodríguez, J. López-Upton y Á. Villegas-Monter. 2015. Asexual propagation of *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 21(1):81-95. Doi: [10.5154/r.rchscfa.2014.08.033](https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.08.033).

Hartmann, H. T., D. E. Kester, F. T. Davies Jr. and R. L. Geneve. 2010. *Hartmann and Kester's plant propagation: Principles and practices*. Pearson education Limited. Edinburgh, STK, United Kingdom. 927 p.

Iglesias G., L., J. Á. Prieto R. y M. Alarcón B. 1996. La propagación vegetativa de plantas forestales. *Revista Ciencia Forestal en México* 21(79):15-41. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/998/2303>. (29 de agosto de 2021).

Lahiri, A. K. 1975. Propagation of *Cupressus cashmiriana* Royle and *Cryptomeria japonica*, Done by stem cuttings. *Indian Forester* 101(5):264-268.

<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19750626518>. (05 de septiembre de 2021).

Mackenzie, K. A. D., B. H. Howard and R. S. Harrison-Murray. 1986. The anatomical relationship between cambial regeneration and root initiation in wounded winter cuttings of the apple rootstock M.26. *Annals of Botany* 58(5):649-661. Doi: [10.1093/oxfordjournals.aob.a087228](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087228).

Mamani I., W. y C. M. Fernández C. 2017. Estudio comparativo en el enraizado de pino limón (*Cupressus macrocarpa* var. *Goldcrest*) y *Chamaecyparis* azul (*Chamaecyparis lawsoniana* var. *Ellwoodii*) con cuatro tipos de sustrato en cámara de subirrigación en el vivero Ekornat-Garden, La Paz. *Revista Apthapi* 3(1):11-22. <http://apthapi.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/155/145>. (20 de septiembre de 2021).

McCormack, M. L., T. S. Adams, E. A. H. Smithwick and D. M. Eissenstat. 2012. Predicting fine root lifespan from plant functional traits in temperate trees. *New Phytologist* 195(4):823-831. Doi: [10.1111/j.1469-8137.2012.04198.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04198.x).

Medina R., M. A., H. R. Mosquera y C. L. Aguilar M. 2014. Micropropagación clonal y enraizamiento *ex vitro* de tres cultivares de piña *Ananas comosus* (L. Merr.) del Chocó, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical* 4(2):133-140. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5168070>. (15 de julio de 2022).

Mudge, K., J. Janick, S. Scofield and E. E. Goldschmidt. 2009. A History of Grafting. In: *Horticultural Reviews Volume 35*. John Wiley & Sons., Inc., Publication. Hoboken, NJ, USA. pp. 437-493. <https://pubag.nal.usda.gov/download/39857/PDF>. (13 de agosto de 2021).

Oseni, O. M., V. Pande and T. K. Nailwal. 2018. A review on plant tissue culture, a technique for propagation and conservation of endangered plant species. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 7(7):3778-3786. Doi: [10.20546/ijcmas.2018.707.438](https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.707.438).

Pérez-Luna, A., J. Á. Prieto-Ruíz, J. López-Upton, A. Carrillo-Parra, C. Wehenkel, J. A. Chávez-Simental and J. C. Hernández-Díaz. 2019. Some factors involved in the success of

side veneer grafting of *Pinus engelmannii* Carr. Forests 10(112):1-18. Doi: 10.3390/f10020112.

Petit-Aldana, J., G. Uribe-Valle y R. Muchacho B. 2010. Comportamiento del ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) en la producción de árboles de navidad bajo condiciones de clima alto andino, Venezuela. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16(1):13-19. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2009.04.010.

R Core Team. 2020. The R Project for Statistical Computing. The R foundation for statistical computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. (10 de junio de 2020).

Raup, A. and M. D. Taylor. 2012. Cutting type and auxin treatment affect rooting of *Cupressus cashmeriana*. Journal of Environmental Horticulture 30(4):211-213. Doi: [10.24266/0738-2898.30.4.211](https://doi.org/10.24266/0738-2898.30.4.211).

Rivera-Rodríguez, M. O., J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton, A. Villegas-Monter y M. Jiménez-Casas. 2016. Enraizamiento de estacas de *Pinus patula*. Revista Fitotecnia Mexicana 39(4):385-392. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v39n4/0187-7380-rfm-39-04-00385.pdf>. (23 de mayo de 2022).

Rosier, C. L., J. Frampton, B. Goldfarb, F. C. Wise and F. A. Blazich. 2004a. Growth stage, auxin type, and concentration influence rooting of Virginia pine stem cuttings. HortScience 39(6):1392-1396. Doi: [10.21273/HORTSCI.39.6.1392](https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.6.1392).

Rosier, C. L., J. Frampton, B. Goldfarb, F. A. Blazich and F. C. Wise. 2004b. Growth stage, auxin type, and concentration influence rooting of stem cuttings of fraser fir. HortScience 39(6):1397-1402. Doi: [10.21273/HORTSCI.39.6.1397](https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.6.1397).

Saini, R. P. 2001. Vegetative propagation in silviculture (hills) division, Darjeeling (West Bengal). Indian Forester 127(4):389-408. Doi: [10.36808/if/2001/v127i4/3103](https://doi.org/10.36808/if/2001/v127i4/3103).

Salem, M. Z. M., H. O. Elansary, H. M. Ali, A. A El-Settawy, ... and K. Skalicka-Woźniak. 2018. Bioactivity of essential oils extracted from *Cupressus macrocarpa* branchlets and *Corymbia citriodora* leaves grown in Egypt. BMC Complementary Alternative Medicine 18(1):1-7. Doi. 10.1186/s12906-018-2085-0.

Scalabrelli, G. and G. A. Couvillon. 1986. Ethylene release from peach hardwood cuttings after treatment for increasing rooting. *Acta Horticulturae* 179:863-867. Doi: 10.17660/ActaHortic.1986.179.149.

Shiembo, P. N., A. C. Newton and R. R. B. Leakey. 1997. Vegetative propagation of *Ricinodendron heudelotii*, a West African fruit tree. *Journal of Tropical Forest Science* 9(4):514-525. <https://www.jstor.org/stable/23616427>. (23 de mayo de 2022).

Somerville, A. 1993. Growth and utilisation of young *Cupressus macrocarpa*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 23(2):163-178. [https://www.scionresearch.com/\\_data/assets/pdf\\_file/0011/59762/NZJFS2321993SOMERVILLE163\\_178.pdf](https://www.scionresearch.com/_data/assets/pdf_file/0011/59762/NZJFS2321993SOMERVILLE163_178.pdf). (15 de agosto de 2021).

Spanos, K. A., A. Pirrie and S. Woodward. 1999. The effect of fertiliser and shading treatments on rooting efficiency in cuttings of the Cupressaceae. *Silvae Genetica* 48(5):248-254.

[https://www.thuenen.de/media/institute/fg/PDF/Silvae\\_Genetica/1999/Vol.48\\_Heft\\_5/48\\_5\\_248.pdf](https://www.thuenen.de/media/institute/fg/PDF/Silvae_Genetica/1999/Vol.48_Heft_5/48_5_248.pdf). (10 de Agosto de 2021).

Todoroki, C. L., C. B. Low, H. M. McKenzie and L. D. Gea. 2015. Radial variation in selected wood properties of three cypress taxa. *New Zealand Journal of Forestry Science* 45(1):1-14. Doi: [10.1186/s40490-015-0049-4](https://doi.org/10.1186/s40490-015-0049-4).

Valdés, A. E., B. Fernández and M. L. Centeno. 2003. Alterations in endogenous levels of cytokinins following grafting of *Pinus radiata* support ratio of cytokinins as an index of ageing and vigour. *Journal of Plant Physiology* 160(11):1407-1410. Doi: [10.1078/0176-1617-00992](https://doi.org/10.1078/0176-1617-00992).



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.