

## Artículo científico

**Efecto de la poda química de raíces y la forma del contenedor sobre el desarrollo de plántulas de *Prosopis alba* (Grisebach)****Effect of chemical root pruning and tree pot shape on seedling development of *Prosopis alba* (Grisebach)**L. Roncaglia<sup>1</sup>; M.L. Fontana<sup>1,2</sup>; C.V. Luna<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup> Cátedra Silvicultura, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste, Sargento Cabral 2131, (W3402BKG), Corrientes, Argentina.

<sup>2</sup> Estación Experimental Agropecuaria Corrientes – INTA. Ruta Nacional 12, km 1008, (3416), Empedrado, Corrientes, Argentina. Orcid.org/0000-0002-7922-9435.

<sup>3</sup> Instituto de Botánica del Nordeste (IBONE), Sargento Cabral 2131, (W3402BKG), Corrientes, Argentina. Orcid.org/0000-0001-7895-3993. \*E-mail: claudiaverluna@gmail.com; cluna@agr.unne.edu.ar

**Resumen**

*Prosopis alba* es un recurso forestal ampliamente distribuido en el mundo y en Argentina es considerada una especie multipropósito para forraje, alimento humano, leña, carbón, madera y tintóreo. Por ello, en Argentina y países limítrofes comenzaron a realizarse estudios para promover el cultivo de especies de *Prosopis* y evaluar diversos métodos de propagación. Actualmente se considera que plantines de buena calidad son aquellos cuyas raíces están en capacidad de producir un crecimiento explosivo una vez llevados al sitio de plantación. El objetivo del presente estudio fue evaluar la utilización de la poda química de raíces en plantines producidos en contenedores de diferente forma. Se evaluaron dos tipos de contenedores (cuadrados y redondos), con y sin tratamiento químico a base de cobre. Se midieron caracteres morfométricos de las plantas hasta 120 días posteriores a la siembra. Los resultados indican que tanto la forma del contenedor, así como la implementación de la poda química de raíces tienen efectos sobre algunos de los caracteres morfométricos analizados. El empleo de contenedores cuadrados, independientemente del uso de cobre o no, afectó significativamente y mejoró el diámetro a la altura del cuello, los pesos secos aéreo y radical, el coeficiente de esbeltez a los 90 días y la tasa de crecimiento absoluto respecto a los contenedores redondos. A su vez, indistintamente del tipo de contenedor, la poda química con cobre determinó efectos positivos sobre la longitud y área de raíces. El índice de calidad de Dickson resultó estadísticamente superior al emplear contenedores cuadrados y realizar poda química con cobre.

**Palabras clave:** Repicante químico; Hidróxido de cobre; Algarrobo; Vivero.

**Abstract**

*Prosopis alba* is a forest resource widely distributed in the world and in Argentina is considered a multipurpose species for fodder, human food, firewood, coal, wood and dye. Therefore, in Argentina and neighboring countries, studies on cultivation of *Prosopis* species and on various propagation methods began to take place. It is currently considered that good quality seedlings are those whose roots are capable of producing explosive growth once taken to the planting site. The objective of this study was to evaluate the use of chemical root pruning in seedlings produced in containers of different shapes. Two types of containers (square and round) were evaluated, with and without chemical treatment based on copper. Morphometric characters of the plants were measured up to 120 days after planting. The results indicate that both the shape of the container, as well as the implementation of chemical root pruning have effects on some of the morphometric characters analyzed. The use of square containers, regardless of the use of copper or not, significantly affected and improved the diameter at neck height, aerial and radical dry weights, the slenderness coefficient at 90 days and the absolute growth rate with respect to round containers. In turn, regardless of the type of container, chemical pruning with copper determined positive effects on the length and area of the roots. Dickson's quality index was statistically higher when using square containers and performing chemical pruning with copper.

**Keywords:** Chemical spicy; Copper hydroxide; Algarrobo; Nursery.

**Introducción**

El género *Prosopis* se encuentra ampliamente distribuido en distintas regiones del mundo.

América, con 40 especies, tiene dos centros de diversidad; uno con 32 especies, se encuentra en Argentina, Chile y Paraguay mientras que el otro, con 7 especies, se encuentra en México y el Sur de

Recibido: 03/09/2019; Aceptado 30/10/2019.

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

los EE.UU. (Fagg y Stewart, 1994). En Argentina hay 28 especies de *Prosopis* en ambientes áridos y semiáridos distribuidas en el 70 % de la superficie del territorio (López, 2005). *Prosopis alba* (Griseb.), popularmente conocido como algarrobo blanco, es muy abundante en la zona centro y norte del país, especialmente en áreas pertenecientes a las provincias fitogeográficas del Chaco, Espinal y del Monte (Ledesma *et al.*, 2008).

El algarrobo blanco es importante para restauración ambiental de áreas degradadas o en sistemas sustentables de producción forestal pues tolera sequía, condiciones edáficas adversas (alta salinidad y alcalinidad), napas freáticas altas (Villagra, 2000) y tiene la capacidad de fijar nitrógeno de forma biológica al establecer relaciones simbióticas con diferentes rizobacterias (Iglesias *et al.*, 2007). Es una especie multipropósito para forraje, alimento humano, leña, carbón, madera y tintóreo (Giménez *et al.*, 2001; López, 2005; Guerrero Maldonado, 2008; Di Marco, 2013). Por ello, se promueve su domesticación y de otras especies del género para aumentar la sustentabilidad de los sistemas productivos, recuperar áreas degradadas y revertir el agotamiento del recurso (Verga, 2000). Es así como en la Argentina y países limítrofes se realizaron estudios sobre la posibilidad de cultivo de especies de *Prosopis* y sobre diversos métodos de propagación (Galera, 2000; Galera y Arias, 2003; ProSoBo, 2007).

Las plantas producidas en vivero, generalmente, tienen mejor prendimiento y mayor crecimiento una vez llevadas al sitio de plantación que las plantas de la naturaleza. Esto se debe a dos razones fundamentales: primero, en el vivero es posible proveer a las plántulas del agua y los nutrientes necesarios de manera controlada, es decir evitar los periodos de estrés que se producen en la naturaleza debido a la fluctuación de las precipitaciones o deficiencias de nutrientes en el suelo; segundo, es posible controlar el desarrollo de las raíces de manera de promover la formación de un sistema fibroso, de gran volumen y relativamente superficial, lo que permite obtener una planta con una relación raíz/tallo mucho más favorable para soportar el trasplante. Actualmente se considera que plantines de buena calidad son aquellos cuyas raíces tienen la capacidad de producir un crecimiento explosivo una vez llevados al sitio de plantación (Buamscha *et al.*, 2012).

En el vivero, los plantines son producidos en contenedores, bolsas plásticas o a raíz desnuda.

La producción en contenedores posee una serie de ventajas sobre otros sistemas. Entre dichas ventajas, se pueden mencionar mejor tolerancia a la manipulación, almacenamiento, transporte y plantación, menor tiempo de producción, mayor homogeneidad del material producido y tolerancia al estrés pos-plantación (Brissette *et al.*, 1991; Grossnickle y El-Kassaby, 2016). Sin embargo, la producción de plantas en contenedores puede conllevar a la deformación de raíces por enrollamiento o enroscamiento. Estas malformaciones constituyen una problemática para la industria de viveros (Arnold, 1992) y han sido asociadas con incrementos en mortalidad, quiebre de las plantas a la altura del cuello, escaso crecimiento (Harris *et al.*, 1971), poca estabilidad mecánica y susceptibilidad a la sequía después de que la planta es llevada a sitio definitivo (Burdett, 1978; Nichols y Alm, 1983). A pesar de las ventajas que presenta el uso de contenedores, no hay estudios que evalúen el impacto de su forma en las malformaciones observadas.

Por otro lado, entre las prácticas comúnmente utilizadas para acrecentar la calidad de las plantas producidas en vivero y garantizar supervivencia en el sitio definitivo se utiliza la poda de raíces antes del trasplante. Existen varias alternativas no excluyentes entre sí para facilitar la poda radical: ventilación lateral en las paredes del contenedor e impregnación del contenedor con productos químicos (Struve, 1993; Rone, 2003). En la actualidad la atención está dirigida hacia la poda química de raíces por impregnación del contenedor con compuestos químicos, es decir, productos que inducen la poda de raíces al inhibir su crecimiento y promover la ramificación (Rossi *et al.*, 2008). Entre ellos se observa una marcada tendencia hacia el empleo de productos a base de cobre por su documentada eficacia para controlar malformaciones en raíces de especies que se producen en contenedores (Ortega *et al.*, 2006).

En vistas de lo expuesto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de dos tipos de contenedores y del uso de la poda química de raíces en plantines de *Prosopis alba*.

## Materiales y métodos

### Material vegetal

Se trabajó con semillas de *P. alba* provenientes del rodal semillero localizado en el paraje Isla de

Cuba (24° 15' 58" S, 61° 54' 0" O), del departamento Matacos de la provincia de Formosa. El mismo se ubica en el extremo oeste de la provincia a orillas del río Bermejo; su temperatura media anual es de 22,8 °C y la precipitación media anual de 678 mm.

#### *Conducción en vivero*

*Escarificación.* Las semillas fueron escarificadas mecánicamente, lijadas de forma manual una por una con papel de lija tamaño de grano 60 a 80. Posteriormente se las introdujo en un recipiente con agua a temperatura ambiente por 24 horas. Se sembró una semilla por contenedor.

*Contenedores.* Se utilizaron dos tipos de contenedores: tubetes individuales de plástico rígido y forma cuadrada (11,5 cm de altura, abertura superior 42 x 42 mm, abertura inferior de 14 x 14 mm y 138 cc de volumen) (TC) y tubetes individuales de plástico rígido y forma redonda (13 cm de altura, diámetro interno superior 40 mm, diámetro agujero inferior 20 mm y 160 cc de volumen) (TR).

*Poda química.* Se utilizó hidróxido de cobre (CuOH<sub>2</sub>) (KOCIDE WG fungicida – bactericida granulada dispersable) al 12 % en mezcla con látex al agua de secado inmediato. Se procedió a la aplicación de la mezcla recubriendo los alvéolos del interior de los contenedores previo a la carga del sustrato.

#### *Diseño experimental y tratamientos*

El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro tratamientos en un arreglo factorial 2x2:

T1: Tubetes cuadrados de plástico rígido con cobre;  
T2: Tubetes cuadrados de plástico rígido sin cobre;  
T3: Tubetes redondos de plástico rígido con cobre;  
T4: Tubetes redondos de plástico rígido sin cobre.

Cada unidad experimental incluyó 20 tubetes, conteniendo una semilla cada uno, colocados en bandejas portatubetes; se realizaron 3 repeticiones por tratamiento.

*Siembra y condiciones de crecimiento.* La siembra fue realizada en noviembre de 2015. El sustrato utilizado fue corteza de pino compostada (pH 4,26), sin fertilizante. El cultivo se efectuó en invernáculo provisto de termómetro y psicrómetro para el registro de humedad relativa. La radiación PAR dentro del mismo fue registrada a las 12:00 horas, durante todo el ensayo y mediante un sensor cuántico LI-190R; se registraron valores de 1.600 a 1.800 μmol/m<sup>2</sup>/s. Las temperaturas medias men-

suales a lo largo de los 4 meses de evaluación fueron de 23 °C (noviembre), 26 °C (diciembre), 28 °C (enero 2016) y 28 °C (febrero 2016). El riego fue manual con regadera y se determinó su necesidad mediante lecturas de tensiómetro IRROMETER - Modelo R, tomando como referencia los valores de 30 a 60 Cb para realizarlo. La calidad de agua empleada se corresponde a C1S1 según las normas Riverside (Richards, 1980). Las bandejas se mantuvieron en mesas de cultivo sobre elevadas con fondo de rejilla para facilitar la poda aérea o neumática de las raíces.

#### *Medición de caracteres morfométricos de las plantas*

A los 30, 60, 90 y 120 días posteriores a la siembra se registraron las variables altura (H) desde el nivel del sustrato hasta el ápice de la planta (Chavasse, 1980) mediante el uso de regla plástica graduada en mm y diámetro a la altura de cuello (DAC) (Puttonen, 1997) mediante calibre graduado en mm.

Al finalizar el ensayo se cosecharon la totalidad de las plantas. Se limpiaron los cepellones separando las raíces del sustrato, para poder así medir la longitud de la raíz principal (LR) desde el cuello de la planta y en toda su extensión (Böhm, 1979) y el área de la raíz (AR) (Harrington *et al.*, 1994) que designa la extensión de la superficie ocupadas por las raíces en el sustrato; para ello se procedió a documentar fotográficamente cada uno de los individuos para luego emplear el programa para procesar imágenes ImageJ (Versión 1,52p. Rasband, 2007).

Posteriormente las plantas se colocaron en bolsas de papel y fueron llevadas a estufa a 80 °C (BIOELEC, modelo 2, Buenos Aires, Argentina) durante 72 horas para determinar el peso seco de la raíz (PSR) y peso seco aéreo (PSA) (South, 2000) con una balanza electrónica de alta precisión.

Con los datos obtenidos se calcularon los siguientes índices y coeficientes:

*Relación altura del tallo/longitud de la raíz principal (AT/LR):* se calculó con las medidas promedio para cada unidad experimental tanto de la longitud del tallo como de la longitud de la raíz principal siguiendo la siguiente ecuación (Dalmaso *et al.*, 1994; Prieto-Ruiz *et al.*, 2003):

$$AT/LR = \frac{\text{Longitud del tallo (cm)}}{\text{Longitud de la raíz (cm)}}$$

*Relación PSA/PSR:* la relación de la parte aérea/

parte radical se calculó a partir de los pesos secos de la parte aérea y radical (Fontana *et al.*, 2018).

*Relación PSR/PSA*: relación raíz/parte aérea a partir de los pesos de raíces, tallos, pecíolos y hojas (Hunt, 2003; Albacete *et al.*, 2008; Bozokalfa, 2008).

Ambas relaciones son útiles para caracterizar el equilibrio funcional de la planta en sus intercambios con el ambiente aéreo y subterráneo (Brouwer, 1983; Kang y Van Iersel, 2004). Dado que en general los contenidos de materia seca de las raíces suelen ser mucho menores que los de la parte aérea (González *et al.*, 2009), un cambio en la partición del carbono hacia la raíz generalmente determina un cambio mucho mayor en la proporción de los órganos aéreos, medidos en términos de peso fresco (Di Benedetto y Tognetti, 2016).

*Coefficiente de esbeltez (CE)* (Oliveira, 1988): relación entre la altura de la planta (cm) y su diámetro (mm), siendo un indicador de la densidad de cultivo. El CE se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CE = \frac{H \text{ (cm)}}{DAC \text{ (mm)}}$$

*Tasa de crecimiento absoluto (AGR)*: incremento de masa seca de material vegetal (dW) por unidad de tiempo de una planta u órgano para cualquier instante de tiempo (dt) (Di Benedetto y Tognetti, 2016). La AGR se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$AGR = \frac{dW}{dt}$$

*Índice de calidad de Dickson (ICD)*: este índice ayuda a determinar la calidad de las plantas producidas en vivero (Dickson *et al.*, 1960). El ICD se calculó mediante la ecuación:

$$ICD = \frac{\text{Peso seco (g)}}{CE \text{ (cm/mm)} + PSA \text{ (g)} / PSR \text{ (g)}}$$

#### *Análisis estadístico de los datos*

Los datos fueron transformados ( $y = \log_{10} x^2$ ). Se realizó análisis de varianza (ANAVA) para determinar el efecto de los factores (tipo de contenedor y poda química) sobre las variables respuesta y la existencia de interacción entre los factores analizados. Se verificó el cumplimiento de los supuestos teóricos del ANAVA mediante las pruebas de Levene y Shapiro Wilks aplicadas a los residuales del modelo ajustado. Para cada unidad

experimental se trabajó con los valores promedio obtenidos luego de analizar las 20 plantas de cada una de ellas. Se empleó el paquete estadístico Infostat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

## **Resultados y discusión**

El tipo de contenedor y el uso de poda química afectaron en forma significativa (Tabla 1) algunas de las variables medidas (Tabla 2) y de los índices estimados a partir de ellas (Tabla 3). En ninguno de los casos la interacción entre factores principales resultó significativa (Tabla 1).

Con respecto a la altura de las plantas, no se registraron diferencias significativas para el tipo de contenedor ni para el tratamiento con cobre (Tabla 1 y 2). Estos resultados son similares a los publicados por Fontana *et al.* (2018) para el mismo germoplasma utilizado (23,03 cm a los 120 días). La altura de las plantas se encontró dentro de la escala mencionada por Joseau *et al.* (2013) para la especie (21 a 45 cm) y a lo referido por DPF-INTA (2014) para un plantín competente de edad comprendida entre los 3 a 6 meses (25 a 35 cm). En cuanto a la influencia de la poda química en la altura, en plantas de *Pseudotsuga menziesii* producidas en contenedores, la poda química incrementó 5 a 16 % la altura de plantas (Dumroese *et al.*, 2002); similar efecto fue publicado por Mateo Sánchez *et al.* (2014) en *Acacia retinodes* utilizando igual dosis de repicante químico que en este estudio. Si bien en nuestro trabajo no hubo diferencias significativas atribuibles al uso de poda química, el valor promedio cuando se utilizó cobre fue algo superior al observado cuando no se utilizó cobre para contenedores redondos ( $28,5 \pm 4,88$  cm y  $26,63 \pm 3,85$  cm respectivamente).

El diámetro a la altura de cuello registró valores mayores cuando se utilizó el contenedor cuadrado independientemente del uso o no del tratamiento químico a base de cobre (Tabla 1 y 2). Según lo reportado por Castro-Garibay *et al.* (2018) el volumen y diseño del envase tienen efecto en las características morfológicas de las plantas. Estas variables son las que más impactan en el tamaño de la planta en vivero; en particular para la conformación estructural del sistema radical y, por consiguiente, de la supervivencia en campo (Jacobs *et al.*, 2005; Prieto *et al.*, 2006; Grossnickle, 2012).

**Tabla 1.** Valor de F, grados de libertad y p-valor de 14 variables y 3 fuentes de variación resultantes del ANAVA de plantines de *Prosopis alba* cultivados en vivero en función del tipo de contenedor y el uso o no de poda química con cobre (Cu).

Variable	Fuente de variación	F	p-valor
H	Contenedor	0,16	0,6964
	Cu	0,43	0,5318
	Contenedor*Cu	0,10	0,7620
DAC	Contenedor	6,96	<b>0,0298</b>
	Cu	4,43	0,0684
	Contenedor*Cu	0,05	0,8256
PSA	Contenedor	6,18	<b>0,0377</b>
	Cu	3,19	0,1118
	Contenedor*Cu	9,1x10 <sup>-8</sup>	0,9998
PSR	Contenedor	12,03	<b>0,0085</b>
	Cu	3,59	0,0946
	Contenedor*Cu	1,42	0,2674
LR	Contenedor	2,91	0,1264
	Cu	6,50	<b>0,0342</b>
	Contenedor*Cu	4,90	0,0577
AR	Contenedor	0,28	0,6113
	Cu	42,64	<b>0,0002</b>
	Contenedor*Cu	1,16	0,3131
ICD	Contenedor	35,32	<b>0,0003</b>
	Cu	11,24	<b>0,0100</b>
	Contenedor*Cu	1,33	0,2814
PSA/PSR	Contenedor	1,27	0,2921
	Cu	0,03	0,8775
	Contenedor*Cu	1,69	0,2299
PSR/PSA	Contenedor	1,27	0,2921
	Cu	0,03	0,8775
	Contenedor*Cu	1,69	0,2299
CE 30días	Contenedor	0,72	0,4206
	Cu	2,26	0,1715
	Contenedor*Cu	2,70	0,1389
CE 90días	Contenedor	7,46	<b>0,0258</b>
	Cu	0,44	0,5245
	Contenedor*Cu	0,57	0,4737
CE 120días	Contenedor	3,87	0,0847
	Cu	0,43	0,5285
	Contenedor*Cu	0,18	0,6789
H/LR	Contenedor	5,22	0,0517
	Cu	2,57	0,1473
	Contenedor*Cu	3,09	0,1167
AGR	Contenedor	9,84	<b>0,0139</b>
	Cu	4,20	0,0747
	Contenedor*Cu	0,23	0,6478

H: Altura; DAC: diámetro a la altura del cuello; PSA: peso seco de la parte aérea; PSR: peso seco de la raíz; LR: longitud de raíces; AR: área de las raíces; ICD: Índice de calidad de Dickson; PSR/PSA: relación peso seco raíz/ peso seco aéreo; PSA/PSR: relación peso seco aéreo/ peso seco raíz; CE: coeficiente de esbeltez a los 30, 90 y 120 días desde siembra; H/LR: relación altura/longitud de raíz; AGR: tasa de crecimiento absoluto. Contenedor\*Cu: interacción entre efectos principales. Los grados de libertad fueron 1, 9 en todos los casos.

Si bien en este estudio se utilizaron contenedores de diferente forma y capacidad, los mejores resultados se obtuvieron con la forma cuadrada y

menor volumen de sustrato.

Los pesos secos de las partes aérea y radical también se vieron sensiblemente favorecidos por el uso de contenedores cuadrados y, aunque sin diferencias significativas, muestran valores superiores en el tratamiento que incluyó cobre (Tabla 1 y 2). El mayor valor podría ser consecuencia de la poda que causan esos envases, con el aumento de la cantidad de raíces vivas (Sánchez-Aguilar *et al.*, 2016), más eficientes para suministrar agua y nutrientes a las plantas en campo.

Tanto la longitud de raíces como el área de raíces se vieron favorecidos por el uso de hidróxido de cobre, independientemente del tipo de contenedor utilizado (Tabla 1 y 2). El efecto contrario fue registrado por Arboleda *et al.* (2002) en dos especies latifoliadas arbóreas como reacción a la presencia del tratamiento químico. Mientras que en *Pinus radiata* los tratamientos con cobre mostraron una clara tendencia a la formación de una mayor cantidad de raíces (Cabal *et al.*, 2005), en *Pinus greggii* la poda química de raíz aumentó significativamente la proporción de raíces con un notorio efecto sobre las características morfológicas de las plantas (Barajas-Rodríguez *et al.*, 2004).

El índice de calidad de Dickson mostró diferencias significativas tanto para el tipo de contenedor como para el uso de cobre (Tabla 1 y 3). Dicho índice sirve para comparar la calidad de plantas de distinto tamaño, debido a que relaciona varios parámetros y establece cuan proporcionada se encuentra la planta en cuanto a tamaño y peso seco que ésta posee (Pérez y Rodríguez, 2016). A mayor ICD mejor calidad de planta; de acuerdo con Sáenz *et al.* (2010) el valor debe ser mayor a 0,5 para calificar a la planta con calidad alta. Los valores obtenidos en ese trabajo no alcanzan la escala de 0,2 a 0,5 sugerido por Prieto-Ruiz *et al.* (2003); por el contrario, son bajos. Sin embargo, otros estudios realizados en diferentes especies de *Prosopis* muestran valores bastante diversos; como por ejemplo plantines de *P. laevigata* demostraron valores de 0,11 (Prieto-Ruiz *et al.*, 2013); en *P. juliflora* cultivados en vivero por 4 meses dieron un valor de 0,3 para este índice (Rueda-Sánchez *et al.*, 2012); mientras que en *P. hassleri* de 90 días se registraron valores de 0,06 a 0,12 en condiciones experimentales y de 0,05 en producción comercial en vivero (Lupia, 2008); estos últimos más próximos a los informados aquí. Estudios más actuales y en el mismo germoplasma utilizado en esta investigación son los obteni-

**Tabla 2.** Altura (H), diámetro a la altura del cuello (DAC), peso seco de las partes aérea (PSA) y radical (PSR), longitud de raíces (LR) y área de raíces (AR) registradas en plantines de *Prosopis alba* cultivados en dos tipos de contenedores con poda química con Cu o sin ella a los 120 días de siembra. Se muestran las medias  $\pm$  DE.

Contenedor	Cu	H (cm)	DAC (mm)	PSA (g)	PSR (g)	LR (cm)	AR (cm <sup>2</sup> )
Cuadrado	SI	26,90 $\pm$ 1,37	1,72 $\pm$ 0,08 B	0,32 $\pm$ 0,04 B	0,21 $\pm$ 0,06 B	10,11 $\pm$ 0,23 b	29,23 $\pm$ 4,17 b
	NO	26,27 $\pm$ 0,56	1,56 $\pm$ 0,20 B	0,25 $\pm$ 0,03 B	0,13 $\pm$ 0,03 B	9,97 $\pm$ 0,80 a	16,98 $\pm$ 3,40 a
Redondo	SI	28,50 $\pm$ 4,88	1,52 $\pm$ 0,07 A	0,23 $\pm$ 0,06 A	0,10 $\pm$ 0,01 A	10,36 $\pm$ 0,49 b	30,76 $\pm$ 2,50 b
	NO	26,63 $\pm$ 3,85	1,40 $\pm$ 0,07 A	0,18 $\pm$ 0,06 A	0,09 $\pm$ 0,01 A	8,32 $\pm$ 1,04 a	14,54 $\pm$ 3,45 a

Letras mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre contenedores cuadrados y redondos. Letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre aplicación o no de cobre.

dos por Fontana *et al.* (2018) que en 150 días de cría en vivero las plantas mostraron un índice de 0,13. Aunque los valores del índice de Dickson no fueron los esperados en referencia a lo reportado para la especie en estudio, se observó que los tratamientos con cobre, independientemente del tipo de contenedor utilizado, mostraron los valores más elevados. Efectos similares se obtuvieron en *P. greggii* (Barajas-Rodríguez *et al.*, 2004) y en *P. pinaster* (Cabal *et al.*, 2005).

Si bien los tratamientos evaluados en este ensayo no mostraron diferencias significativas entre sí para las relaciones PSR/PSA y PSA/PSR (Tabla 1 y 3), la primera se vio favorecida en contenedores cuadrados con cobre mientras que la segunda en contenedores redondos con cobre. Estas relaciones son útiles para caracterizar el equilibrio funcional de la planta, por ejemplo, en la relación raíz: parte aérea, si disminuye la asignación de carbono a la raíz (numerador), ese mismo carbono se asigna al tallo (denominador), magnificando el efecto sobre dicha relación (Di Benedetto y Tognetti, 2016). La escasa existencia de datos referidos al PSR y PSA de plantines de *Prosopis* sp. cultivados en condiciones similares dificulta la calificación de los valores obtenidos, así como aseverar si las características morfológicas son idóneas para sobrevivir al estrés del trasplante (Martínez *et al.*, 2007). En *Pinus pseudostrobus* valores altos para la variable PSA/PSR se explican porque la planta fue sometida a poda química con sales de cobre, lo cual contribuye a generar un mejor sistema radical (Aguilera Rodríguez *et al.*, 2015).

El coeficiente de esbeltez (CE) mostró diferencias significativas únicamente a los 90 días asociadas al tipo de contenedor (Tabla 1 y 3). Este coeficiente indica si las proporciones del plantín son las adecuadas, permitiendo la resistencia a la desecación por el viento y su crecimiento potencial en sitios secos (Pérez y Rodríguez, 2016). Existen divergencias entre autores en cuanto al óptimo de CE, ya que Thompson (1985) considera como tales valores superiores a 6, en tanto Mitchel

*et al.* (1990) consideran valores menores o iguales a 8, y por su parte Quiroz *et al.* (2009) señalan que valores entre 5 y 10 indican una mejor calidad de planta. En este estudio en todos los casos se obtuvieron valores altos, que oscilaron entre 8,32  $\pm$  1,09 y 20,59  $\pm$  1,81. Según Oliet (2000) y Pérez y Rodríguez (2016) las plantas con CE altos muestran supervivencia variable y un pobre crecimiento en ambientes rigurosos.

La relación altura/longitud de raíz no presentó diferencias significativas atribuibles al tipo de contenedor o el uso de poda química ni a la interacción entre ambos factores (Tabla 1 y 3) y los registros rondaron entre 2,64  $\pm$  0,16 y 3,2  $\pm$  0,16. Se publicaron como reseña de esta relación para *P. alba* valores entre 0,93 y 3,46 por Joseau *et al.* (2013) y valores entre 1,58 y 2,29 por Fontana *et al.* (2018). Las referencias generales indican que en latifoliadas valores por encima de 1 comprometen la supervivencia, aunque por otra parte si el valor medio del lote es muy bajo lo más afectado será el crecimiento. Prieto-Ruiz *et al.* (2003) recomiendan adecuar la selección del material a las condiciones de plantación definitiva. Si las condiciones ambientales son favorables una relación altura/longitud de raíz de 1 favorece la supervivencia; si las condiciones son menos favorables se sugiere utilizar plantines con una relación próxima a 0,5 y, si en el sitio de plantación existan limitantes de disponibilidad de agua se sugiere relaciones de 1,5 a 2,5.

La tasa absoluta de crecimiento (AGR) resultó estadísticamente superior con el uso de contenedores cuadrados, sin verificarse efecto alguno del uso o no de cobre (Tabla 1 y 3). La biomasa seca acumulada de una planta se incrementa inicialmente a una tasa exponencial, más tarde lo hace linealmente y finalmente crece a una tasa decreciente hasta alcanzar un nivel máximo (*plateau*), lo que se asemeja a una curva sigmoidea (Poorter, 2002). La pendiente (primera derivada) de esta curva es la tasa de crecimiento absoluto (AGR, g/día, por sus iniciales en inglés *absolu-*

**Tabla 3.** Índice de calidad de Dickson (ICD), relación peso seco raíz/ peso seco aéreo (PSR/PSA), relación peso seco raíz/ peso seco aéreo (PSA/PSR), coeficiente de esbeltez (CE) a los 30, 90 y 120 días desde siembra, relación altura/longitud de raíz (H/LR) y tasa de crecimiento absoluto (AGR) de plantines de *Prosopis alba* cultivados en dos tipos de contenedores con poda química con Cu o sin ella. Se muestran las medias  $\pm$  DE.

Contenedor	Cu	ICD	PSR/PSA	PSA/PSR	CE 30 días	CE 90 días	CE 120 días	H/LR	AGR
Cuadrado	SI	0,03 $\pm$ 0,005 Ab	0,64 $\pm$ 0,15	1,62 $\pm$ 0,41	9,79 $\pm$ 1,23	17,19 $\pm$ 1,62 A	15,63 $\pm$ 1,03	2,66 $\pm$ 0,19	0,004 $\pm$ 0,0009 B
	NO	0,02 $\pm$ 0,004 Aa	0,53 $\pm$ 0,10	1,94 $\pm$ 0,39	9,69 $\pm$ 1,08	17,09 $\pm$ 1,40 A	16,98 $\pm$ 2,09	2,64 $\pm$ 0,16	0,003 $\pm$ 0,0005 B
Redondo	SI	0,02 $\pm$ 0,001 Bb	0,47 $\pm$ 0,10	2,21 $\pm$ 0,54	8,32 $\pm$ 1,09	19,11 $\pm$ 1,98 B	18,71 $\pm$ 2,63	2,74 $\pm$ 0,34	0,003 $\pm$ 0,0005 A
	NO	0,01 $\pm$ 0,002Ba	0,54 $\pm$ 0,12	1,9 $\pm$ 0,41	10,18 $\pm$ 0,73	20,59 $\pm$ 1,81 B	19,03 $\pm$ 2,76	3,2 $\pm$ 0,16	0,002 $\pm$ 0,0006 A

Letras mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre contenedores cuadrados y redondos. Letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre aplicación o no de cobre.

*te growth rate*) de una planta u órgano (Broadley *et al.*, 2000; 2003; Filho *et al.*, 2009). Para cualquier instante de tiempo (t), AGR se define como el incremento de peso seco de material vegetal (W) por unidad de tiempo, indicando el cambio de tamaño por unidad de tiempo y ofreciendo una visión acertada de la acumulación de materia seca (Almanza-Merchán *et al.*, 2016).

## Conclusiones

Desde la introducción de la primera generación de contenedores forestales en la década de los 70, se han evaluado diferentes sistemas de cultivo. Los más habituales son los contenedores de paredes no rígidas (ej. *Paperpot*) y los de paredes rígidas con orificio de drenaje en su parte inferior. Estos últimos fueron paulatinamente sustituidos por otros con estrías verticales que contribuyeron a disminuir las deformaciones radicales y mejoraron la estabilidad en campo. Estudios posteriores demostraron que estos contenedores mejoran parcialmente la estructura radical (Lindström, 1994), ya que su efecto positivo está fuertemente condicionado por el manejo de la producción implementado en el vivero: fertilización, riego, elección de sustrato y tiempo de permanencia de la planta (Lindström, 1998). Los resultados obtenidos en este trabajo permiten concluir que tanto la forma del contenedor empleado, así como la implementación de la poda química de raíces tienen efectos sobre algunos de los caracteres morfométricos analizados en plantines de *P. alba* producidos en vivero. La forma del contenedor, independientemente del uso de cobre o no, afectó significativamente el diámetro a la altura del cuello, los pesos secos aéreo y radical, el coeficiente de esbeltez (CE) a los 90 días y la tasa de crecimiento absoluto (AGR). Para todas estas variables, el desempeño del contenedor cuadrado fue superior al redondo. A su vez, indistintamente del tipo de contenedor, la poda química con cobre determinó efectos positivos sobre la longitud y área de las raíces. El índice de calidad de Dickson fue afectado por la forma del contenedor y por la poda química. En este sentido, el contenedor cuadrado, así como la poda con cobre determinó mejores resultados. Finalmente, variables tales como la altura de los plantines, el coeficiente de esbeltez a los 30, 60 y 120 días, así como la relación altura/longitud de raíces no se vieron afectadas por la forma del contenedor ni el uso de cobre para la poda química.

## Referencias bibliográficas

- Aguilera Rodríguez M., Aldrete A., Martínez Trinidad T., Ordaz Chaparro V. (2015). Producción de *Pinus pseudostrubus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7 (34): 7-19.
- Albacete A., Ghanem M.E., Martínez-Andújar C., Acosta M., Sánchez-Bravo J., Martínez V., Lutts S., Dodd I.C., Pérez-Alfocea F. (2008). Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Journal of Experimental Botany* 59 (15): 4119-4131.
- Almanza-Merchán P., Tovar-León Y., Velandia-Díaz J. (2016). Comportamiento de la biomasa y de las tasas de crecimiento de dos variedades de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en Pachavita, Boyacá. *Revista Ciencia y Agricultura* 13 (1): 67-76.
- Arboleda M.E., Bautista D., Mogollón N. (2002). Efecto del hidróxido de cobre sobre el crecimiento de las especies arbóreas *Pachyra insignes* y *Andira inermis* en condiciones de vivero. *Bioagro* 14 (2): 65-70.
- Arnold M.A. (1992). Timing, acclimation period, and cupric hydroxide concentration alter growth responses of the Ohio production system. *Journal of Environmental Horticulture* 10 (2): 114-117.
- Barajas-Rodríguez J.E., Aldrete A., Vargas H.J.J., López U.J. (2004). La poda química en vivero incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 38: 545-553.
- Böhm W. (1979). Methods of studying root systems. En: *Ecological Studies*, vol. 33. Canadell J.G., Díaz S., Held Maier G., Jackson R.B., Levia D.F., Schulze E., Sommer D., Wardle D.A. (Eds.) Springer, Alemania. Pp. 1-188.
- Bozokalfa M.K. (2008). Irrigation temperature effects on seedling growth and transplant quality of tomato, pepper and eggplant. *Spanish Journal of Agricultural Research* 1: 120-124.
- Brissette J.C., Barnett J.P., Landis T.D. (1991). Container seedlings. En: *Forest regeneration manual*. Kluwer, Duryea M.L., Dougherty P.M. (Eds.) Springer, Países Bajos. Pp. 117-141.
- Broadley M.R., Escobar-Gutierrez A.J., Burns A., Burns I.G. (2000). What are the effects of nitrogen deficiency on growth components of lettuce? *New Phytologist* 147 (3): 519-526.
- Broadley M.R., Seginer I., Burns A., Escobar-Gutierrez A.J., Burns I.G., White P.J. (2003). The nitrogen and nitrate economy of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.). *Journal of Experimental Botany* 54 (390): 2081-2090.
- Brouwer R. (1983). Functional equilibrium: sense or nonsense? *Netherlands Journal of Agricultural Science* 31 (4): 335-348.
- Buamscha M.G., Contardi L.T., Dumroese R.K., Enrici J.A., Escobar R.R., Gonda H.E., Jacobs D.F., Landis T.D., Luna T., Mexal J.G., Wilkinson K.M. (2012). Producción de plantas en viveros forestales. En: [http://ciefap.org.ar/documentos/pub/Produc\\_plantas\\_viv.pdf](http://ciefap.org.ar/documentos/pub/Produc_plantas_viv.pdf), consulta: octubre 2019.
- Burdett A.N. (1978). Control of root morphogenesis for improved mechanical stability in container-grown lodgepole pine. *Canadian Journal of Forest Research* 8: 483-488.
- Cabal A., Kidelman A., Ortega U., Duñabeitia M., Majada J. (2005). Influencia de la poda química en la biomasa y desarrollo radical de *Pinus pinaster* Ait. y *Pinus radiata* D. Don. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 14 (1): 52-63.
- Castro-Garibay S., Aldrete A., López-Upton J., Ordaz-Chaparro V. (2018). Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* en vivero. *Agrociencia* 52 (1): 115-127.
- Chavasse C. (1980). Planting stock quality: a review of factors affecting performance. *New Zealand Journal of Forestry* 25: 144-171.
- Dalmasso A., Masuelli R., Salgado O. (1994). Relación vástago-raíz durante el crecimiento en vivero de tres especies nativas del Monte *Prosopis chilensis*, *Prosopis flexuosa* y *Bulnesia retama*. *Multequina* 35: 35-43.
- Di Benedetto A., Tognetti J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 42 (3): 258-282.
- Di Marco E. (2013). Ficha técnica: *Prosopis alba* Griseb. (Algarrobo Blanco). En: *Agroindustria*, <http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/procedimiento-requerido-en-plantaciones/prosopis-alba-griseb-familia-fabaceae-mimosoide.pdf>, consulta: octubre 2019.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M., Robledo C.W. (2018). InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dickson A., Leaf A.L., Hosner J.F. (1960). Seedling quality-soil fertility relationships of white spruce and red and white pine in nurseries. *Forestry Chronicle* 36: 237-241.
- DPF-INTA (Dirección de Producción Forestal; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). (2014). Avances en la silvicultura del algarrobo blanco. En: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/avances\\_prosopis.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/avances_prosopis.pdf), consulta: octubre 2019.
- Dumroese R.K., James R.L., Wenny D.L. (2002). Hot water and copper coatings in reused containers decrease inoculum of *Fusarium* and *Cylindrocarpum* and increase Douglas fir seedling growth. *HortScience* 37 (6): 943-947.
- Fagg C.W., Stewart J.L. (1994). The Value of Acacias and *Prosopis* in Arid and Semi-arid environment. *Journal of Arid Environments* 27: 3-25.



- Filho B.G.S., Lobato A.K.S., Silva R.B., Schmidt D., Costa R.C.L., Alves G.A.R., Oliveira Neto C.F. (2009). Growth of lettuce (*Lactuca Sativa* L.) in protected cultivation and open field. *Journal of Applied Sciences Research* 5 (5): 529-533.
- Fontana M., Pérez V., Luna C. (2018). Efecto del origen geográfico en la calidad morfológica de plantas de *Prosopis alba* (Fabaceae). *Revista de Biología Tropical* 66 (2): 593-604.
- Galera F.M. (2000). Los Algarrobos. Las especies del género *Prosopis* (algarrobos) de América Latina con especial énfasis en aquellas de interés económico. En: <http://www.fao.org/3/AD314S/AD314S00.htm>, consulta: octubre 2019.
- Galera F., Arias R. (2003). Productividad en cultivo para *Prosopis alba* var. Panta y *Prosopis nigra* como madera y forraje no convencional en el NO de Córdoba. 2º Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales. 26-28 de noviembre, San Cristóbal, Argentina.
- Giménez A.M., Ríos N., Moglia J.G., Hernández P., Bravo S.J. (2001). Evolución de magnitudes dendrométricas en función de la edad en *Prosopis alba* Griseb., algarrobo blanco, Mimosaceae. *Revista Forestal Venezolana* 45 (1): 175-183.
- González M.V., Sadras V.O., Equiza M.A., Tognetti J.A. (2009). Suboptimal temperature favors reserve formation in biennial carrot (*Daucus carota*) plants. *Physiologia Plantarum* 137 (1): 10-21.
- Grossnickle S. (2012). Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests* 43: 711-738.
- Grossnickle S.C., El-Kassaby Y.A. (2016). Bareroot versus container stocktypes: a performance comparison. *New Forests* 47: 1-51.
- Guerrero Maldonado N. (2008). Uso y valoración de plantas medicinales y Tintóreas presentes en Santiago del Estero, Argentina - Proyecto de fin de carrera. En: Archivo Digital Universidad Politécnica de Madrid, [http://oa.upm.es/1299/1/PFC\\_NATALIA\\_GUERRERO\\_MALDONADO.pdf](http://oa.upm.es/1299/1/PFC_NATALIA_GUERRERO_MALDONADO.pdf), consulta: octubre de 2019.
- Harrington J.T., Mexal J.G., Fisher J. (1994). Volume displacement provides a quick and accurate way to quantify new root production. *Tree Planters' Notes* 45: 121-124.
- Harris R., Davis W.B., Stice N.W., Long D. (1971). Root pruning improves nursery tree quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 96 (1): 105-108.
- Hunt R. (2003). Growth analysis, individual plants. En: *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. Murphy, B.T. Murray, D. (Eds.). Academic Press, EEUU. Pp. 588-596.
- Iglesias O., Rivas R., García-Fraile P., Abril A., Mateos P., Martínez-Molina E., Velázquez E. (2007). Genetic characterization of fast-growing rhizobia able to nodulate *Prosopis alba* in North Spain. *FEMS Microbiology Letters* 277 (2): 210-216.
- Jacobs D.F., Salifu K.F., Seifert J.R. (2005). Relative contribution of initial root and shoot morphology in predicting field performance of hardwood seedlings. *New Forests* 30: 235-251.
- Joseau J., Conles M., Verzio G. (2013). Conservación de recursos forestales nativos de Argentina. El cultivo de plantas leñosas en vivero y a campo. Editorial Brujas, Argentina.
- Kang J.G., Van Iersel M.W. (2004). Nutrient solution concentration affects shoot: root ratio, leaf area ratio, and growth of subirrigated salvia (*Salvia splendens*). *HortScience* 39 (1): 49-54.
- Ledesma T., De Bedia G., López C. (2008). Productividad de *Prosopis alba* Griseb. en Santiago del Estero. *Quebracho* 15 (1): 5-9.
- Lindström A. (1994). Stability of young container pine stands. *Canadian silviculture magazine* 2: 16-20.
- Lindström A. (1998). Root deformation and its implications for container-seedling establishment and future quality development. En: *Root development and stability*. Almqvist C. (Ed.). SkogForsk, Sweden. Pp. 51-60.
- López C. (2005). Evaluación de la Variación Genética de Especies del Género *Prosopis* de la Región Chaqueña Argentina para su Conservación y Mejoramiento. En: *Mejores Árboles para más Forestadores*. Norberto C. (Ed.), Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina. Pp. 195-203.
- Lupia N. (2008). Efectos del tamaño de semilla, envase y tipo de sustrato en el desarrollo de plantines de *Prosopis hassleri* Harms. Tesina de grado. Universidad Nacional de Formosa, Formosa, Argentina.
- Martínez D., Barroetaveña C., Rajchenberg M. (2007). Influencia del régimen de fertilización y del momento de inoculación en la micorrización de *Pinus ponderosa* en la etapa de vivero. *Bosque (Valdivia)* 28 (3): 226-233.
- Mateo Sánchez J., Capulín Grande J., Araujo Santana M., Suárez Islas A., Mitjans Moreno B. (2014). Crecimiento de *Acacia retinodes* Schltld. en sustratos a base de aserrín de pino y envases tratados con cobre. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 2 (2): 191-202.
- Mitchel W., Dunsworth G., Simpson D., Vyse A. (1990). Planting and Seeding. En: *Regenerating British Columbia's Forests*. Lavender R., Parish C., Johnson G., Montgomery A., Vyse A., Willis R., Winston D. (Eds.). University of British Columbia Press, Canada. Pp. 235-253.
- Nichols T.J., Alm A.A. (1983). Root development of container-reared, nursery-grown, and naturally regenerated pine seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 13 (2): 239-245.
- Oliet J. (2000). La calidad de la postura forestal en vivero. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Córdoba, España.

- Oliveira A. (1988). The H/D ratio in maritime pine (*Pinus pinaster*) stands. En: Proceedings of the IUFRO Conference Forest Growth modelling and prediction. Ek A., Shifley S., Burk T. (Eds.). IUFRO, EEUU. Pp. 881-888.
- Ortega U., Majada J., Mena A.P., Sánchez Z.J., Rodríguez I.N., Txarterina K., Azpitarte J., Duñabeitia M. (2006). Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. *New Forests* 31: 97-112.
- Pérez V., Rodríguez H. (2016). Producción de plantines de calidad de *Aspidosperma quebracho-blanco* Schltdl. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. En: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/4146>, consulta: octubre 2019.
- Poorter H. (2002). Plant growth and carbon economy. En: <http://www.els.net> [doi: 10.1038/npg.els.0003200], consulta: octubre 2019.
- Prieto R.J.A., Soto G.M., Hernández D.J.C. (2006). Efecto del tamaño de envase en el crecimiento de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Revista de Ciencias Forestales de México* 32: 23-38.
- Prieto-Ruiz J., Rosales-Mata S., Sigala-Rodríguez J., Madrid-Aispuro R., Mejía-Bojorques J. (2013). Producción de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl ex Wild.) MC Johnst. con diferentes mezclas de sustrato. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4 (20): 50-57.
- Prieto-Ruiz J., Vera C., Merlín B. (2003). Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Editorial Sagar, México.
- ProSoBo-Programa Social de Bosques. (2007). Producción de semillas y plantines de árboles nativos seleccionados de la cuña boscosa santafecina. En: [https://www.unl.edu.ar/extension/wp-content/uploads/sites/9/2019/02/327\\_publicacionesproyectos-de-extension-.pdf](https://www.unl.edu.ar/extension/wp-content/uploads/sites/9/2019/02/327_publicacionesproyectos-de-extension-.pdf), consulta: octubre 2019.
- Puttonen P. (1997). Looking for the "silver bullet" Can one test do it all? *New Forests* 13: 9-27.
- Quiroz I., García E., González M., Chung P., Soto H. (2009). Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta. En: <https://rngr.net/publications/vivero-forestal-produccion-de-plantas-nativas-a-raiz-cubierta>, consulta: octubre 2019.
- Rasband W.S. (2007). ImageJ, US National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, EEUU, <http://rsbweb.nih.gov/ij/>, consulta: octubre 2018.
- Richards L. (1980). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos: Manual N° 60. Editorial Limusa, México.
- Rone G. (2003). Slits in container wall improve root structure and stem straightness of outplanted Scots Pine seedlings. *Silva Fennica* 37 (3): 333-342.
- Rossi V.L., Talamini do A.C.V., Fleig F.D. (2008). Crecimiento e qualiade de mudas de *Pinus taeda* L. submetidas à poda química de raíces. *Ciência Florestal* 18 (4): 435-442.
- Rueda-Sánchez A., Benavides-Solorio J., Prieto-Ruiz J., Sáenz-Reyez J., Orozco-Gutiérrez G., Molina-Castañeda A. (2012). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3 (14): 69-82.
- Sáenz R., Villaseñor R., Muñoz F., Rueda S., Prieto R. (2010). Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. En: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1289/CALIDAD%20DE%20PLANTA%20EN%20VIVEROS%20FORESTALES%20DE%20CLIMA%20TEMPLADO%20EN%20MICHOACAN.pdf?sequence=1>, consulta: octubre 2019.
- Sánchez-Aguilar H., Aldrete A., Vargas-Hernández J., Ordaz-Chaparro V. (2016). Influencia del tipo y color de envase en el desarrollo de plantas de pino en vivero. *Agrociencia* 50: 481-492.
- South D. (2000). Planting morphologically improved pine seedlings to increase survival and growth. En: <https://pdfs.semanticscholar.org/cf63/b3938f81aca8f47e276c5248ba307ee77dc2.pdf>, consulta: octubre 2019.
- Struve D.K. (1993). Effect of copper-treated containers on transplant survival and regrowth of four tree species. *Journal of Environmental Horticulture* 11 (4): 196-199.
- Thompson B. (1985). Seedling morphological evaluation. What you can tell by looking. En: *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests*. Duryea M. (Ed.), Editorial Oregon State University, EEUU. Pp. 59-71.
- Verga A. (2000). Algarrobos como especies para forestación: una estrategia de mejoramiento. *SAGPyA Forestal* 16: 12-18.
- Villagra P. (2000). Aspectos ecológicos de los algarrobales argentinos. Departamento de Dendrocronología e Historia Ambiental. IANIGLA-CRICYT. *Multequina* 9 (2): 35-51.