

TRABAJO CIENTÍFICO

Atributos morfológicos y fisiológicos de *Prosopis alba* Griseb en vivero con diferentes sustratos y contenedores

Morphological and physiological attributes in Prosopis alba Griseb seedlings with different greenhouse substrates and containers

Senilliani, M. G.¹; M. Acosta¹; J. Oliet² y M. Brassiolo¹

Recibido en julio de 2020; aceptado en octubre de 2021

RESUMEN

La calidad de la planta forestal de *Prosopis alba* (algarrobo blanco) es un factor de importancia en el manejo de la especie, desde la fase de vivero a la plantación lograda. El trabajo tuvo como objetivo determinar los atributos morfológicos-fisiológicos de plantas en vivero bajo diferentes condiciones de crecimiento generadas por la combinación de diferentes tamaños de contenedor y diferentes sustratos según la composición y porosidad. Se estableció un ensayo con diseño factorial cruzado, con 4 tratamientos resultantes de la combinación de distintas capacidades del contenedor y sustratos. Se evaluaron: altura, diámetro al cuello de la raíz, biomasa aérea y radical, concentración de nutrientes foliares e índices de calidad de planta. Para la caracterización de los sustratos se midió la porosidad total, aérea y de retención. La calidad de las plántulas varió con el tipo de sustrato y volumen del contenedor empleado. La concentración foliar de K no varió, las de N y P difirieron según la técnica de producción. Los atributos de calidad en relación al diámetro a la altura del cuello (DAC) mostraron el mejor comportamiento con el uso de contenedores de mayor volumen y los atributos Ht, biomasa aérea, radical e índices de calidad de planta muestran mayor desarrollo mediante la técnica de producción de contenedores de mayor volumen utilizando como sustrato una mezcla de corteza de pino compostada y perlita (1:1).

Palabras clave: algarrobo blanco, crecimiento, índices de calidad de planta, relación biomasa aérea-radical.

ABSTRACT

The quality of the forest plant *Prosopis alba* (algarrobo blanco) is an important factor in the management of the species, from the nursery phase to the successful plantation. This work aimed to determine the morphological-physiological attributes of nursery plants under different growth conditions generated by the combination of different container sizes and different substrates in terms of their composition and porosity. A crossover factorial design trial was established, with 4 treatments resulting from the combination of different capacities of the container and substrates. The following were evaluated: height, diameter at root neck, aerial and radical biomass, concentration of foliar nutrients and plant quality indices. To characterize the substrates, their total, aerial and retention porosity were measured. The quality of the seedlings varied with the type of substrate and volume of the container used. Though the foliar concentration of K did not vary, that of N and P differed with the production technique. Quality attributes related to the root neck diameter showed their best performance when produced in larger volume containers while the attributes Ht, aerial and radical biomass along with plant quality indices showed greater development when using containers of greater volume and a substrate made out of a mixture of composted pine bark and perlite (1: 1).

Key words: algarrobo blanco, growth, plant quality indices, aerial-radical biomass ratio.

¹ Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912 (4200) Santiago del Estero, Argentina. E-mail: senilliani@yahoo.com.ar

² Universidad Politécnica de Madrid, España

1. INTRODUCCIÓN

La degradación de los bosques es un grave problema mundial, en particular en los países en desarrollo. Se estima que un tercio de la población mundial padece los efectos de la degradación de las tierras (Sabogal *et al.*, 2015). En Argentina, esta problemática es similar, siendo el tercer país en el ranking mundial con problemas de degradación por salinidad (Lavado, 2008; Taleinisk *et al.*, 2011). En esta región se ha centrado la investigación en la incorporación de especies leñosas nativas del género *Prosopis* a estos ambientes degradados, con el fin de generar productos y/o servicios forestales, considerando que son especies que han formado parte del paisaje original y que poseen potencial para la forestación.

Prosopis alba Griseb, especie nativa de reconocido potencial en el aprovechamiento de productos forestales maderables y no maderables (PFNM), está presente en los bosques del Chaco Semiárido en distintas condiciones agroecológicas. Es una especie freatófita con gran capacidad de adaptación y tolerancia a suelos salinos, con potencial para su promoción en reforestación contribuyendo a recuperar áreas degradadas. Para avanzar en materia de forestación es necesario contar con información de producción y manejo de la especie, desde fase de vivero a plantación lograda. Se considera de importancia trabajar en determinación de técnicas y procesos de producción en vivero que garanticen mayor sobrevivencia y rápido crecimiento inicial. Dentro de las variables de cultivo posibles de evaluar, el tipo de sustrato y volumen del contenedor son aspectos claves a manejar en la producción de un vivero. La calidad de una planta de contenedor depende en gran medida de su sistema radical, por lo cual el sustrato como varias prácticas de cultivo debe ser diseñado para promover un adecuado desarrollo radical en todo el contenedor, que asegure al término de la etapa de cultivo el desarrollo de un firme cepellón (Landis, 1990). El tipo y tamaño del contenedor en conjunción con la composición del sustrato, no solo rige la cantidad de agua, nutrientes disponibles y desarrollo de las raíces sino también los aspectos operativos del vivero (Luna *et al.*, 2012). Gran parte de estas características en el cultivo en contenedor están relacionadas directamente con la porosidad del sustrato, de allí la necesidad de poder determinar los requerimientos específicos de porosidad para la especie y las técnicas para lograr mayor eficiencia del cultivo (Escobar y Buamscha, 2012). El espacio poroso relativo de un medio de crecimiento se relaciona en todos los aspectos del cultivo de la planta en contenedor. Una estructura de poros apropiadamente balanceada, representa un adecuado intercambio de gases para el sistema radical, lo cual afecta directamente todas las funciones de la raíz, como la absorción de nutrientes minerales y de agua (Landis, 1990).

Los parámetros de calidad a considerar en una planta están representados por los atributos morfológicos y fisiológicos que interactúan entre sí y tienen influencia entre los mismos (Mexal, 2012). El diámetro a la altura de cuello de la planta es un buen predictor de su desempeño en la plantación ya sea en la supervivencia, crecimiento en altura como la producción en volumen a largo plazo (Mexal, 2012). La altura como parámetro morfológico tiene escasa relación con la supervivencia sin embargo la relación entre peso seco de biomasa aérea y la radical, determina el balance entre la superficie transpirante y la superficie absorbente de la planta y es uno de los parámetros que brinda más información en cuanto a la calidad de la planta debido a la relación con el balance hídrico y la resistencia al stress (Marchant *et al.*, 2009).

Entre los parámetros fisiológicos, se destaca el estado nutricional y el estado hídrico, siendo el primero uno de los atributos con mayor influencia en la calidad de la planta. Escasos estudios se han realizado sobre calidad de planta en la región, Salto *et al.* (2016) en Concordia, Entre Ríos, realizó un estudio similar en *Prosopis alba* donde evaluó la calidad de planta según diferentes sustratos y contenedores.

El trabajo tuvo como objetivo determinar los atributos morfológicos y fisiológicos de plantas en vivero bajo diferentes condiciones de crecimiento generadas por la combinación de diferentes tamaños de contenedor y diferentes sustratos según la composición y porosidad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el vivero de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Localidad del Zanjón, a 27° 52' 30.08" S, 64° 14' 14.97" O Dpto. Capital, Santiago del Estero, Argentina. El tipo de vivero donde se realizó el estudio corresponde a un umbráculo que permite el control parcial de las variables ambientales, con sistema de riego por aspersión automatizado y manejo de la intensidad de radiación con malla media sombra al 50%. La instalación del ensayo responde a un ciclo de producción de plántulas realizado durante los meses de primavera-verano. En función del tipo de crecimiento que posee la especie, principalmente la raíz de carácter pivotante, se eligieron dos tamaños de contenedores a ensayar. Los dos sustratos seleccionados se establecieron con el objetivo de generar diferencias de porosidad y evaluar la repuesta radical, considerándose factores de importancia clave en el efecto sobre la producción en vivero. El efecto del sustrato y el tamaño de contenedor fueron evaluados a partir de un diseño de tratamientos factorial 2 x 2, con cuatro repeticiones y se determinó como unidad muestral la parcela de 54 plántulas. El número total de individuos fue 864. Los tratamientos aplicados se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos aplicados

<i>Factores y niveles de los tratamientos</i>	Tratamientos			
	B1SA	B2SA	B1SB	B2SB
Componentes del sustrato (corteza: perlita)	75:25	75:25	1:1	1:1
Contenedor (cm ³)	250	125	250	125

Los sustratos utilizados fueron corteza de pino compostado (Vivero Huagro S.A.), perlita (Minaclar S.A) y la preparación fue mediante mezcla manual. Se establecieron dos niveles del factor sustrato: El sustrato A, presentaba una proporción de corteza de pino compostado y perlita de 75:25 y el sustrato B, una proporción de 1:1. El contenedor B1 correspondió a un tubete de 250 cm³, diámetro interno 64 mm, altura 137 mm; el contenedor B2 correspondió a un tubete de 125 cm³, diámetro interno 40 mm y altura 150 mm, ambos de forma tronco cónica, ocho nervaduras internas de orientación radical.

El germoplasma empleado provino en su totalidad de poblaciones locales (Cosecha, 2013) cosechadas en el departamento Robles, Santiago del Estero. El clima de esta región se caracteriza por ser subtropical con estación seca con temperatura promedio anual de 20,4 °C y precipitación promedio anual de 624 mm (Morello, 2012). Las semillas fueron escarificadas con inmersión en ácido sulfúrico 95 %, durante 3 minutos, posteriormente fueron enjuagadas con agua. La siembra fue realizada en octubre del 2014 en vivero bajo cobertura de media sombra (50% de intercepción de la radiación), mediante el método de siembra directa, colocando 1 semilla por contenedor. El Dispositivo Data logger registró en umbráculo una temperatura media de 27 °C en noviembre-diciembre y humedad de 40 % a 70 %, durante el periodo en que transcurrió la germinación. Para prevenir ataques fúngicos se aplicó semanalmente Carbendazim, mediante pulverización con mochila en dosis de 25 cm³/100 litros de agua. Para la suplementación de nutrientes, se utilizó el mismo método, vía pulverización con mochila, un fertilizante foliar NPK grado equivalente: 25 - 14 - 8 con dosis 4 g/litro de sustrato de marca comercial Yoguien N° 3 (Ando y Cia.SA) con aplicación semanal.

Las variables evaluadas fueron: diámetro a la altura de cuello (DAC) medición con calibre vernier registrada en mm; altura total (Ht) medición con reglas de precisión en cm, tomada desde el cuello de la raíz hasta el ápice, peso seco total obtenido por sumatoria de los pesos secos radical y aéreo (PST), radical (PSR) y aéreo (PSA) y nutrientes foliares: nitrógeno (N) en %, fósforo (P) y potasio (K) medidos en mg/g PS. La determinación analítica de los nutrientes se realizó para el nitrógeno mediante el método estándar micro- Kjeldahl (Horneck and Miller, 1998), para el fósforo se

empleó el método colorimétrico de azul de molibdeno (Murphy y Riley, 1962) y para el potasio el método fotometría de llama (Baker and Shur, 1982).

La medición de los parámetros morfológicos (DAC, Ht, PST, PSA y PSR) se hizo a los 120 días de la siembra, etapa que se corresponde con la etapa final en vivero y posterior plantación a campo. Se determinó la duración del ciclo de vivero en 120 días en base a experiencias propias anteriores y se tomó como referencia el estudio de Salto *et al.* (2016) donde se produjo una planta de calidad en el tiempo fijado.

La medición de la Ht y el DAC se hizo como paso previo a extraer el sustrato del cepellón de la planta y realizar el lavado de raíces. La determinación de la biomasa de la planta se hizo mediante método destructivo, se utilizaron 3 plántulas por parcela seleccionadas al azar, se particionó la parte aérea y radical para su posterior colocación en estufa a 72 °C hasta peso constante durante 48 horas aproximadamente. La medición del peso seco se realizó en balanza electrónica de precisión de 0,1 g.

A partir de los atributos morfológicos citados anteriormente se calcularon los siguientes índices: *Índice de esbeltez* (IE) es un indicador de la densidad del cultivo, relaciona la resistencia de la planta con la capacidad fotosintética de la misma (Toral, 1997), se describe por la relación altura/diámetro:

$$IE = Ht / DAC$$

Dónde: Ht. = Altura de la plántula (cm); DAC = Diámetro a altura de cuello (mm);

La *relación biomasa aérea y biomasa radical* que representa la relación entre el tejido que evapotranspira (parte aérea) y el tejido que absorbe agua y nutrientes (raíces) mediante la siguiente fórmula:

$$PSA / PSR = \text{Peso seco aéreo} / \text{Peso seco radical}$$

El *Índice de Calidad de planta* (Dickson *et al.*, 1960) combina las variables morfológicas siguientes, peso seco total de la planta, la suma de la esbeltez y la relación biomasa aérea/biomasa radical, para representar la calidad morfológica, que indica que a mayor valor mayor calidad de planta, mediante la fórmula siguiente:

$$IC = PST / (IE + (PSA / PSR)) \quad [1]$$

Dónde: PSA = Peso seco aéreo (g); PSR = Peso seco radical (g); y PST = Peso seco total (g).

Para el análisis de nutrientes foliares se usaron 3 plantas por parcela, seleccionadas a 120 días de la siembra.

En lo que respecta a los sustratos evaluados, las propiedades físicas testeadas fueron, porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA) y retención de agua de los sustratos (PR) determinados por método volumétrico (Landis *et al.*, 1990) expresados en porcentaje. Se midió volumen del agua de saturación (volumen total de poros) y del agua drenada (volumen de poros de aireación). La evaluación en sustratos se realizó al inicio del ciclo de producción, determinándose 5 repeticiones por tratamiento siendo la unidad muestral el contenedor.

Análisis estadístico

Para la determinación de los efectos de los factores ensayados se empleó un arreglo factorial de los tratamientos con diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones, en condiciones de vivero de acuerdo a la siguiente expresión:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + (\tau\gamma)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad [2]$$

Donde:

Y_{ijk} representa la observación para la k-ésima unidad experimental del nivel i del factor A (envase) y nivel j del factor B (sustrato), μ media general, τ_i representa el efecto causado por el nivel i del factor A, γ_j representa el efecto causado por el nivel j del factor B, $(\tau\gamma)_{ij}$ representa la interacción del nivel i del factor A y el nivel j del factor B, y ε_{ijk} representa el término de error aleatorio asociado a la observación y_{ijk} .

Las variables DAC, Ht, IE, PSA, PSR, PST, PSA/PSR, IC, concentración de nutrientes y porosidad fueron evaluados mediante análisis de la varianza con análisis factorial para constatar la existencia de diferencias significativas entre los niveles y su interacción, según modelo de la Ecuación [2]. En la variable PSA/PSR, al no cumplirse los supuestos de normalidad, se aplicó la transformación logarítmica de la variable.

Para establecer patrones de diferencias se aplicó la prueba (DGC) (Di Rienzo *et al.*, 2015). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Infostat vs. 2015.

3. RESULTADOS

Parámetros morfológicos y fisiológicos

La evaluación del DAC, en etapa final de crecimiento, mostró diferencias en favor del contenedor de mayor volumen, con diferencias significativas en el factor envase (valor de F 5,27 $p < 0,04$) y una media de $2,4 \pm 0,12$ cm para los de mayor volumen con respecto a $2,0 \pm 0,12$ cm para los de menor volumen. No se registraron interacciones en los factores analizados.

La falta de interacción entre los factores se repitió para altura total e índice de esbeltez, registrándose diferencias significativas relacionadas al factor envase (valor de F 118,2 $p < 0,0001$ y 7,62 $p < 0,01$ respectivamente) obteniéndose mayores valores de Ht e IE en contenedores de mayor volumen, con valores de $19,5 \pm 0,47$ cm y $8,2 \pm 0,5$ respectivamente con respecto a $12,3 \pm 0,47$ cm de Ht y $6,2 \pm 0,5$ de IE en contenedores de menor volumen. La Ht registró diferencias en cuanto al sustrato, con mejor comportamiento en el sustrato B (Valor de F 8,04 $p < 0,01$) con $17 \pm 0,47$ cm en relación al Sustrato A, $15 \pm 0,47$ cm.

Analizando en detalle las variables PSR, PSA y PST, presentaron mayores valores en el caso de contenedores de mayor volumen con el sustrato B, registrándose una diferencia de un 100 % en la biomasa radical, aérea y total con respecto al sustrato A (Tabla 2). Las diferencias fueron estadísticamente significativas para la interacción contenedor-sustrato en PSR (valor de F 12,54 $p < 0,004$), en PSA (valor de F 4,7 $p < 0,04$) y en PST (valor de F 11,3 $p < 0,005$).

La relación PSA/PSR, que representa el balance entre la biomasa aérea y radical no mostró diferencias, ni interacciones para los factores testeados. La biomasa radical aumentó progresivamente con el peso seco total (PST), observándose en la mayoría de los tratamientos valores menores a 1 (Tabla 2), que indicarían una biomasa radical que supera a la biomasa aérea. Esto no sucedió en contenedores de menor tamaño con sustrato B donde la relación es de 1, lo que indica que ambas biomásas (aérea y radical) son iguales, con una proporción menor de biomasa radical con respecto a los demás tratamientos.

La variación en el Índice de calidad de planta, registró resultados similares a los demás parámetros analizados, mostró una mejor calidad de planta con el uso del sustrato B en los contenedores de

mayor volumen con valores de $0,27 \pm 0,03$. El sustrato A en contenedor de mayor volumen obtuvo un índice de $0,13 \pm 0,03$ y en el de menor volumen obtuvo un índice similar $0,12 \pm 0,03$. El sustrato B en los contenedores de menor volumen registro el valor de índice más bajo, $0,08 \pm 0,03$. Se presentaron diferencias estadísticamente significativas para la interacción contenedor-sustrato (valor de F 8,59 $p < 0,01$) (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros morfológicos e índices de plántulas de *Prosopis alba*, 120 días después de la siembra y porosidad del sustrato, para cada uno de los tratamientos utilizados.

	Tratamientos			
	B1SA	B2SA	B1SB	B2SB
Parámetros morfológicos e índices				
PSA (g)	$0,39 \pm 0,09$ B	$0,22 \pm 0,09$ B	$0,87 \pm 0,09$ A	$0,32 \pm 0,09$ B
PSR (g)	$0,70 \pm 0,10$ B	$0,48 \pm 0,10$ B	$1,41 \pm 0,10$ A	$0,32 \pm 0,10$ B
PST (g)	$1,10 \pm 0,10$ B	$0,70 \pm 0,10$ B	$2,28 \pm 0,10$ A	$0,63 \pm 0,10$ B
PSA/PSR	$0,62 \pm 0,10$ A	$0,49 \pm 0,10$ A	$0,62 \pm 0,10$ A	$1,05 \pm 0,10$ A
IC	$0,13 \pm 0,03$ B	$0,12 \pm 0,03$ B	$0,27 \pm 0,03$ A	$0,08 \pm 0,03$ B
Porosidad del sustrato (%)				
Total	$24,6 \pm 1,61$ D	$57,9 \pm 1,60$ A	$31,7 \pm 1,60$ C	$50,8 \pm 1,60$ B
Aireación	$5,8 \pm 1,20$ C	$33,1 \pm 1,20$ A	$11,4 \pm 1,20$ B	$30,5 \pm 1,20$ A
Retención	$18,7 \pm 0,90$ B	$24,7 \pm 0,91$ A	$20,2 \pm 0,90$ B	$20,2 \pm 0,91$ B

Los valores en la tabla expresan la media \pm error estándar. Letras iguales para cada fila simbolizan que las medias no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) en test DGC, PSA= peso seco aéreo, PSR= peso seco radicular, PST= peso seco total, PSA/PSR= peso seco aéreo/radical e IC= Índice de Dickson.

La concentración de nutrientes foliares no registró interacciones significativas entre los factores contenedor x sustrato, por lo cual el resultado de los efectos principales indica que para el factor volumen de contenedor, el fósforo presentó diferencias significativas (F 6,79 $p < 0,02$), con mayor concentración en aquellos de menor volumen con $1,26 \pm 0,08$ mg/g en relación al de mayor volumen. En el caso de nitrógeno, el factor sustrato registró diferencias significativas, a favor del sustrato B con $1,36\% \pm 0,05$ (F 6,56 $p < 0,02$) en relación al sustrato A que registro $1,16\%$. El potasio no registró diferencias significativas entre los tratamientos, con promedios de $4,03 \pm 0,24$ mg/g.

Los mayores valores de porosidad total se registraron en contenedores de menor volumen con valores más altos en el sustrato A que en el B. En el caso de contenedores de mayor volumen, el sustrato B presentó mayores valores que A (Tabla 2). La porosidad aérea, para contenedores de menor volumen, con valores de 30 % a 32 %, no presentó diferencias entre los distintos tipos de sustratos utilizados. En contenedores de mayor volumen, el sustrato B presentó diferencias significativas con respecto al A (11,48 % de porosidad aérea para el sustrato B y 5,82 % en el sustrato A) (Tabla 1). En porosidad de retención se demostró que solo existen diferencias significativas para contenedores de menor volumen con el sustrato A, según se observa en Tabla 1, este tratamiento presenta el mayor valor de porosidad (24,7 %), para los demás casos no hubo diferencias. Es notable la presencia de interacción entre factores en porosidad total ($p < 0,0004$), porosidad aérea ($p < 0,005$) y porosidad de retención ($p < 0,007$).

4. DISCUSIÓN

La calidad de planta en vivero varió con el sustrato y el volumen del contenedor empleado. En algarrobo blanco, las variables diámetro a altura del cuello, altura total e IE, demostraron que hay mayor desarrollo en contenedores de mayor volumen, independientemente del sustrato usado. Los valores de IE obtenidos para ambos contenedores (de 6,2 a 8,2) demostraron ser adecuados e indicaron plantas de buena calidad si se considera las referencias citadas (valores de IE entre 5 y 10 para plantas de buena calidad) por Marchant (2009). El estudio coincide con Salto *et al.* (2016), quienes probaron que el crecimiento de plántulas de *P. alba* en diferentes tamaños de contenedores, era mayor en los tubetes de mayor volumen. Estos resultados se vincularían a la mayor disponibilidad de sustrato con que cuenta la planta en el ciclo de crecimiento como también al mayor diámetro del tubete que posibilita mayor área de captación de agua de riego (Luna *et al.*, 2012).

Los valores registrados para PSA/PSR entre 0,49 a 1,05 fueron comparables a los encontrados por Dalmasso *et al.*, (1994) para especies del mismo género como *Prosopis chilensis* y *Prosopis flexuosa* (0,44 y 0,48 respectivamente). Los valores en DAC (2 mm a 2,4 mm) fueron inferiores a los registrados por Salto *et al.* (2016) (3,5 mm a 4,2 mm) considerando un sustrato con cierta similitud e iguales tamaños de envase, posiblemente esta diferencia se deba a la mayor frecuencia y dotación de agua en el programa de riego complementado con mayor aplicación de fertilizantes. La mejor calidad de planta en el estudio, (tratamiento B1SB) presentó una PSA/PSR relativamente baja que garantizaría mayor supervivencia, evitando que la transpiración exceda a la capacidad de absorción (Reyes *et al.*, 2005). Este atributo presentó un mayor valor interpretativo por su relación con la economía hídrica de la planta particularmente importante en climas secos (Navarro *et al.*, 2006).

El IC, en general fue bajo (0,08 a 0,13) a excepción de B1SB que presentó el mayor valor (0,27). La respuesta en crecimiento obtenida para este tratamiento respondió a la mayor sección transversal del contenedor con influencia directa en el desarrollo radicular, en particular mayor desarrollo de raíces secundarias que mejora la formación del cepellón. El IC obtenido para B1SB podría ser comparable a valores obtenidos por López Martínez *et al.* (2014), de 0,19 a 0,21, en estudios de calidad de planta en *Prosopis laevigata*. Dickson *et al.* (1960) consideran que entre más alto el IC mejor será la calidad de planta y la adaptación a condiciones ambientales (López Martínez *et al.*, 2014).

Según Oliet *et al.* (2006), el estado nutricional afecta los atributos morfológicos y fisiológicos, con consecuencias sobre la respuesta en la fase de establecimiento. La concentración de macronutrientes medidos en las hojas, demostró una mayor concentración de N para las plantas que crecieron en el sustrato B (1,36 %), sin embargo, la concentración de N en general fue menor en comparación a otros estudios. Los antecedentes en cuanto a aspectos nutricionales en el género *Prosopis* no son concluyentes; Si comparamos los valores encontrados en este estudio con los de Mendoza *et al.* (2014), en hojas maduras de *Prosopis nigra*, se reportaron en P 1,30 mg/g, K 4,10 mg/g y N 3,18 %, valores iguales o levemente superiores para P y K y una diferencia marcada en el caso de N. Para suplir esta diferencia se podría complementar la fertilización foliar con fertilizante de base en el sustrato, que permita obtener un mayor contenido de nitrógeno foliar. Ante la falta de valores de referencia en las concentraciones de macronutrientes que optimicen la calidad de planta en algarrobo, los valores registrados podrían ser usados como datos preliminares. Se debe considerar al definir valores de referencia, el efecto de dilución que puede darse en la concentración de los nutrientes foliares ante el crecimiento rápido de la planta (Landis, 1989; Grimalt, 2010). Otro factor a considerar que predispone a la movilidad de nutrientes es el proceso de translocación de solutos, desde el follaje hacia el tallo y raíces durante la fase de rusticación, etapa final de vivero donde se fortalece el sistema radical (Escobar, 2012).

El efecto de la porosidad de los sustratos sobre el crecimiento mostró que el uso de contenedores de mayor volumen con 1:1 de corteza de pino y perlita registró los mayores crecimientos en los parámetros morfológicos relacionados a la biomasa. Este tratamiento registró una baja porosidad

de aireación pero situada en el límite inferior del rango citado en la literatura, con PR similar a los registrados en contenedores más pequeños, con una proporción equilibrada en la distribución de macro y micro poros. Estos rangos contemplan una porosidad total, porosidad de aire y retención de humedad de 60 % a 80 %, 10 % a 30 %, y 40 % a 60 % (con base en el volumen), respectivamente (De Boodt y Verdonck, 1972; Bunt, 1988; Ansorena, 1994; Handreck y Black, 1994 citado por Garcia *et al.*, 2001). Se observa cómo los tratamientos con mayores valores de porosidad no necesariamente tuvieron los mayores desarrollos en biomasa radical, un parámetro de gran relevancia para las regiones áridas o semiáridas. Una de las razones de este comportamiento podría deberse a un bajo requerimiento de la especie, característica de ambientes semiáridos, de volumen de aire en el cepellón y alta relevancia en la capacidad de retención de agua, un aspecto crítico para dicho ambiente. Escobar y Buamscha (2012) expresan que los requerimientos de porosidad de aireación y retención cambian según las diferentes especies, así en el tratamiento que presenta mayor crecimiento (B1SB) se considera que los valores de porosidad obtenidos permiten a las raíces disponer de suficiente volumen de aire para su función respiratoria (Martínez y Roca, 2011) y necesidades de agua.

5. CONCLUSIONES

Si bien la calidad de la planta forestal en vivero, requiere su validación a futuro en la respuesta de crecimiento a campo, en la etapa de vivero se concluye que el mejor comportamiento de los atributos de calidad evaluados, en relación al DAC se obtiene con el uso de contenedores de mayor volumen, y los demás atributos Ht, biomasa aérea, radical e índices de calidad de planta se obtienen mediante la técnica de producción de contenedores de mayor volumen utilizando como sustrato una mezcla de corteza de pino compostada y perlita (1:1).

La concentración foliar de K no varía, las de N y P difieren según la técnica de producción con un registro bajo en contenido de N. Se podría mejorar el estado nutricional de las plantas mediante la implementación de técnicas de vivero, como la fertilización en el sustrato que se complementa a la fertilización foliar y le confiera mayor calidad a la planta.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baker, D. L. and N. H. Shur. 1982. Atomic absorption and flame emission spectrometry, pp. 13-27. In: A. L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Dalmaso, A.; R. Masuelli y O. Salgado, 1994. Relación vástago-raíz durante el crecimiento en vivero de tres especies nativas del Monte *Prosopis chilensis*, *Prosopis flexuosa* y *Bulnesia retama*. *Multequina, Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas Mendoza, Argentina* (3):35-43.
- Di Rienzo, J.; F. Casanoves; M. Balzarini; I. González; M. Tablada y C. Robledo, 2015. *InfoStat*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2015. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dickson, A.; I. Leaf; J. F. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedlings stock in nurseries. *Forestry Chronicle* (3):10-13.
- Escobar, R. y G. Buamscha. 2012. Sustratos o medios de crecimiento. En: Contardi, L.; Gonda, H; Tolone; G, Salimbeni. *Producción de plantas en viveros forestales*. Colección nexos, 89-98 p.
- Escobar, R. 2012. Fase de cultivo: endurecimiento. En: Contardi, L.; Gonda, H; Tolone; G. Salimbeni. *Producción de plantas en viveros forestales*. Colección nexos, 145 p.

- García, C.; G. Alcántar; R. Cabrera; R. Gavi y H. Volke. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnu maureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra* 19 (3).
- Grimalt, L. 2010. *Análisis de los cambios estacionales y efecto de las diferentes zonas sobre la concentración de nutrientes en hojas de olivo (Olea europaea L.) en San Juan*. Tesis de Magister de la Universidad Nacional de Buenos Aires, Argentina.
- Horneck, D. A. & R. Miller. 1998. Determination of total nitrogen in plant tissue. *In: Handbook of reference methods for plant analysis* (ed YP Kalra) pp. 75-81 Taylor and Francis group, New York.
- Landis, T. D. 1990. Containers: Types and Functions. *In* Landis, T. D.; Tinus, R. W.; McDonald, S. E. y Barnett, J. P. *The Container Tree Nursery Manual*, Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Landis, T. D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. *In*: Landis, T.D.; Tinus R.W.; McDonald, S.E.; Barnett, J.P. *The Container Tree Nursery Manual*, Volume 4. Agric. Handbbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 1-67.
- Lavado, R. 2008. Visión sintética de la distribución y magnitud de los suelos afectados por salinidad en la Argentina. Pp. 11-16 *En*: Taleisnik, E; K Grunberg & G. Santa María (eds.). *La salinización de suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria*. EDUCC (Editorial Universidad Católica de Córdoba), Córdoba. ISBN 978-987-626-013-8.
- López Martínez, P.; H. Villalón Mendoza; J. Yerena Yamallel; J. Jiménez Pérez; Guevara González y J. R. Martínez Barrón. 2014. Sistemas de riego para la producción de planta de *Prosopis laevigata* (Humb & Bonpl. ex. Wild), M. C. Johnst en vivero forestal. *Latinoamericana de Recursos Naturales*; 10 (2):45-51.
- Luna, T.; T. Landis y R. Dumroese. 2012. Contenedores: aspectos técnicos, biológicos y económicos. *En*: Contardi, L.; Gonda, H.; Tolone; G. Salimbeni. *Producción de plantas en viveros forestales*. Colección nexos, 195 p.
- Marchant, I; E. García Rivas; M. González Ortega; P. Chung Guin-Po; H. Soto Guevara. 2009. *Vivero forestal*. Producción de plantas nativas a raíz cubierta. Centro tecnológico de la planta forestal. Gobierno de Chile, INFOR.
- Martínez, P. F.; D. Roca. 2011. Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. *En*: Florez R. V. J. (Ed.). *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. 37-77 p.
- Mendoza, C.; M. Turrión; P. Aceñolaza; J. Gallardo & V. Pando. 2014. Nutrient resorption in dominant species of forests in the 'Espinal Mesopotámico' (Argentina). *Bosque* 35(2):185-193.
- Mexal, G y T. Landis, 2012. Nutrición. *En*: Contardi, L.; H. Gonda; G. Tolone; G. Salimbeni. *Producción de plantas en viveros forestales*. Colección nexos, p101-112.
- Morello, J. 2012. *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*. Morello, J.; S. Matteucci; A. Rodríguez (eds.) 1ª ed. Orientación Grafica Editora, Buenos Aires. 752 p.; 26x17 cm. ISBN 978-987-1922-00-0.
- Murphy, J. and J. Riley. 1962. A modifies single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal- Chim. Acta* 27 31-36.
- Navarro, R.; A. Del campo y J. Cortina. 2006. Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta. Cap. 2 y 4 *En*: *Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes Mediterráneos*. Estado actual de conocimientos. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Oliet, J.; A. Valdecantos; J. Puértolas y R. Trubat. 2006. Influencia del estado nutricional y el contenido en carbohidratos en el establecimiento de las plantaciones, Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos. Naturaleza y Parques Nacionales, *Serie forestal Ministerio de Medio Ambiente*, Madrid, España (5): 89.
- Reyes, J.; L. A. Aldrete; V. M Cetina Alcalá y J. López Upton. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *Apulencis* en sustratos a base de aserrín. *Chapingo, serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, Universidad Autónoma Chapingo, México, XI (2):105-110.

- Sabogal, C.; C. Besacier y D. Mc Guire. 2015. Restauración de bosques y paisajes: conceptos, enfoques y desafíos que plantea su ejecución. *Unasyva* 245(66):3-10.
- Salto, C.; L. Harrand; G. Oberschelp y M. Ewens. 2016. Crecimiento de plantines de *Prosopis alba* en diferentes sustratos, contenedores y condiciones de vivero. *Bosque* 37 (3):527-537, DOI: 10.4067/S0717-92002016000300010.
- Taleisnik, E. y López Launestein D. 2011. Leñosas perennes para ambientes afectados por salinidad. Una sinopsis de la contribución argentina a este tema. *Ecología Austral* 21:3-14. Asociación Argentina de Ecología.
- Toral, M. 1997. *Concepto de calidad de plantas en viveros forestales*. Documento Técnico N°1. Programa de Desarrollo Forestal Integral de Jalisco, SEDER- Fundación Chile. Consejo Agropecuario de Jalisco, México.

