



¿Una fase de endurecimiento más prolongada mejora la calidad de planta en *Prosopis alba* Griseb?

Does a longer hardening phase improve the plant quality in *Prosopis alba* Griseb?

Maria Gracia Senilliani^{1*}, Analía Guzmán¹, Pablo Álvarez¹ y Miguel Brassiolo¹

¹ Universidad Nacional de Santiago del Estero.
Facultad de Ciencias Forestales-INSIMA, Santiago
del Estero, Argentina.

* Autora de correspondencia. senilliani@yahoo.com.ar

RESUMEN

El algarrobo blanco (*Prosopis alba*), especie arbórea utilizada en forestaciones en zonas semiáridas en Argentina, requiere de un mayor conocimiento de sus fases de crecimiento en vivero para ajustar programas de riego, fertilización y época de producción de plantas, con el fin de producir plantas de calidad que aseguren mejores respuestas en campo. Para ello, en este estudio se evaluaron diferentes duraciones en la fase de endurecimiento y su influencia sobre los atributos morfológicos de calidad en plantas de *Prosopis alba* Griseb. Las variables registradas fueron: diámetro a la altura de cuello (DAC), altura total (Ht), peso seco radical (PSR) y aéreo (PSA); y los índices morfológicos: índice de Dickson (ICD), relación entre peso seco aéreo y radical (PSA/PSR) e índice de esbeltez (IE). Para determinar los efectos de los tratamientos ensayados, se efectuaron mediciones longitudinales en las variables DAC y Ht evaluadas mediante análisis de medias repetidas del módulo de modelos lineales mixtos. Los demás parámetros fueron evaluados mediante análisis de varianza en la medición a los 105 días de la siembra. Los resultados indicaron que el tratamiento con una duración de 60 días en la fase de endurecimiento presentó los mejores parámetros morfológicos de calidad. Se concluye que una mayor duración en la fase de endurecimiento generó mejores atributos morfológicos, principalmente 60% a 140% más de biomasa radicular y en el ICD un valor 90% a 140% más alto con respecto a los demás tratamientos.

PALABRAS CLAVE: biomasa, estrés hídrico, fase de crecimiento, parámetros morfológicos.

ABSTRACT

The algarrobo blanco tree (*Prosopis alba*), a tree species used in afforestation in semi-arid zones in Argentina, requires greater knowledge of its growth phases in the nursery to adjust irrigation, fertilization, and plant production time programs, in order to produce quality plants that ensure better responses in the field. For this, in this study, different durations in the hardening phase and their influence on the morphological attributes of quality in *Prosopis alba* Griseb plants were evaluated. The recorded variables were diameter at neck height (DAC), total height (Ht), root dry weight (PSR) and aerial dry weight (PSA); and the morphological indices: Dickson's index (ICD), aerial and root dry weight ratio (PSA/PSR) and slenderness index (IE). To determine the effects of the treatments tested, longitudinal measurements were made on the DAC and Ht evaluated by repeated means analysis of the mixed linear model's module. The other parameters were evaluated by analysis of variance in the measurement 105 days after sowing. The results indicated that the treatment with duration of 60 days in the hardening phase presented the morphological parameters with the best quality. It is concluded that a longer duration in the hardening phase generated better morphological attributes, mainly 60% to 140% more root biomass and in the ICD a value 90% to 140% higher with respect to the other treatments.

KEYWORDS: biomass, water stress, growth phase, morphological parameters.

INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de una plantación forestal es el éxito en el establecimiento que, en términos generales, implica supervivencia y crecimiento de los individuos plantados. Diversos factores pueden influir en este resultado, pero uno de ellos se relaciona con el empleo de plantas morfológica y fisiológicamente adecuadas (Fernández Martínez, 2008). El crecimiento en vivero se puede describir en tres fases de crecimiento, las fases de establecimiento, crecimiento rápido y endurecimiento, cada una con requerimientos y cuidados propios. En la última fase, el principal objetivo será manipular la morfología de la planta logrando detener el crecimiento del brote y promover la formación de las yemas, fomentando al mismo tiempo el crecimiento del diámetro del tallo y las raíces para que resista el estrés de ser transportada y plantada en el campo (Dumroese et al., 2012). Existen diversas técnicas para el proceso de endurecimiento, sin embargo, las tres más utilizadas en especies mediterráneas han sido el endurecimiento por estrés hídrico, endurecimiento por reducción de la fertilización, especialmente del nitrógeno, y endurecimiento por bajas temperaturas (Vilagrosa et al., 2006). Diversos trabajos indican que el endurecimiento mediante la reducción del riego desarrolla parámetros morfológicos en equilibrio, aumentando el diámetro del cuello de la raíz sin afectar el crecimiento del sistema radical y permite obtener plantas de menor tamaño y con relaciones en la biomasa más favorables para ambientes con fuertes limitaciones hídricas. (Ávila-Angulo, 2017; Chirino Miranda et al., 2004). El conocimiento de las particularidades de cada etapa o fase de crecimiento en el vivero es crucial, ya que el viverista podrá hacer uso de esta información y establecer o inducir los diferentes tipos de atributos que califican a las plantas y que deberán poseer para afrontar los diferentes factores limitantes en el sitio específico de plantación (Escobar, 2012).

El endurecimiento de plantas que serán destinadas a forestación en áreas de la región semiárida argentina se relaciona con la inducción al estrés hídrico al disminuir el aporte de agua y aumentar la exposición solar, lo cual

reduce el crecimiento en altura e inicia mecanismos de resistencia a condiciones de sequía (Villar Salvador et al., 2000). En estas condiciones, el algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb) es una de las especies con mayor potencial dada su importancia económica, su gran rusticidad y su buen comportamiento en la forestación con crecimientos promisorios para la región (Zárate, 2016). Además, esta especie es promocionada para la forestación en el marco de la Ley Nacional 25080 de inversiones para bosques cultivados (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca [MAGyP], 1998). Esta especie ocupa un lugar preponderante como componente estructurador de sistemas productivos sustentables en amplias áreas marginales del país y como proveedor de estabilidad a ecosistemas frágiles, impidiendo o revirtiendo procesos de desertificación.

Ante este panorama promisorio del creciente avance de la forestación con algarrobo blanco en la región del Chaco semiárido, es importante profundizar los conocimientos sobre las prácticas que permitirán obtener plantas de mayor calidad.

En este sentido, la hipótesis de estudio considera que una fase de endurecimiento más prolongada en plantas de *Prosopis alba* producidas en viveros permitirá ajustar aquellos parámetros morfológicos que determinen una mejor calidad de planta.

OBJETIVOS

Determinar el efecto de diferentes duraciones en la fase de endurecimiento sobre los atributos morfológicos de calidad en plantas de *Prosopis alba* Griseb producidas en vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue realizado en el vivero de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero en la localidad de El Zanjón (27°52'30,08"S, 64°14'14,97"O), Dpto. Capital, Santiago del Estero, Argentina. 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). 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 (50% de intercepción de la radiación). La instalación del ensayo responde a un ciclo de producción realizado durante los meses de primavera-verano que corresponde al período adecuado para el cultivo de la especie en la provincia. En función de los caracteres culturales que presenta la especie en lo que respecta al sistema radicular y de acuerdo con lo recomendado por Senilliani et al., (2020) se utilizaron contenedores tronco cónico circular de 250 cm³, por ser el tamaño más eficiente para el adecuado crecimiento de esta especie en el ciclo de producción. Los contenedores presentan un diámetro interno de 63 mm y altura 136 mm, en porta tubete A54E que cubre 205 plantas por metro cuadrado.

El efecto de los diferentes tratamientos aplicados fue evaluado a partir de un diseño completamente al azar, con tres repeticiones; se determinó como unidad muestral la bandeja con 54 plántulas. El número total de individuos fue 486. Los tratamientos aplicados se describen en la tabla 1. Se utilizaron los acrónimos E60, E25 y E15 para la denominación de cada uno de los tratamientos, cuya notación hace referencia a la cantidad de días en que las plantas transcurrieron en la fase de endurecimiento. Las diferentes duraciones de cada uno de los tratamientos se

determinaron en función de los requerimientos de la especie y del desarrollo observado en ciclos de producción previos.

Como sustrato se utilizó una mezcla de corteza de pino compostado y perlita, a razón de 1:1 (v:v). Las características físicas del sustrato fueron: densidad de 0,24 g/cm³; 32% v/v de porosidad de aireación; 56% v/v de porosidad de retención de agua; y 80% v/v de porosidad total. Los valores de conductividad eléctrica y pH fueron 0,6 ds/m y 5,1, respectivamente.

En la composición del sustrato se incorporó una dosis de 2 g L⁻¹ del fertilizante de liberación lenta Basacote Plus® 6M (16-8-12). El germoplasma empleado provino en su totalidad de la selección masal de rodales localizados en el departamento Robles provincia de Santiago del Estero (cosecha 2018). Las semillas se escarificaron mediante inmersión en agua caliente (70 °C) durante 24 horas. La siembra se realizó el 16 de noviembre de 2019, mediante el método de siembra directa, colocando 1 semilla por contenedor. El registro de las variables temperatura y humedad relativa durante el ciclo de producción en el vivero se realizó mediante un dispositivo *Data Logger* de 4 canales. Se registraron la temperatura dentro y fuera del umbráculo y la humedad relativa fuera del umbráculo (Tabla 2).

TABLA 1. Descripción de las condiciones de crecimiento en vivero de plántulas de *Prosopis alba* para una duración de la fase de endurecimiento de 60 días (E60), 25 días (E25) y 15 días (E15) en cada fase de crecimiento.

Fases de crecimiento	Condiciones de crecimiento	Tratamientos		
		E60	E25	E15
		(días)		
Establecimiento	Permanece en umbráculo con riego por aspersión automatizado, frecuencia de tres riegos diarios con duración de 15 minutos	15	15	15
Crecimiento rápido	Permanece en umbráculo hasta Ht promedio de 25 cm y un DAC mínimo de 3 mm con riego por aspersión automatizado, frecuencia de tres riegos diarios con duración de 10 minutos	30	65	75
Endurecimiento	Permanece a pleno sol con riego por aspersión automatizado, frecuencia de tres riegos diarios con duración de cinco minutos	60	25	15

Diámetro a la altura de cuello (DAC); altura total (Ht)

TABLA 2. Valores medios de variables meteorológicas dentro y fuera del umbráculo en cada fase de crecimiento en vivero de plántulas de *Prosopis alba*.

Fases de crecimiento	Fecha	Dentro del umbráculo	Intemperie	
		Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Humedad relativa media (%)
Fase de establecimiento	2019-11-15	27,5	27,5	50
	2019-11-30	26	26,6	63
Fase de crecimiento rápido	2019-12-15	27	29	85
	2019-12-31	27	29,6	70
Fase de rustificación	2020-01-07	31,3	39	49
	2020-01-14	32,9	39	60
	2020-01-21	39,5	42,5	62
	2020-01-28	32,7	34,5	58
	2020-02-04	37,8	39,3	81
	2022-02-18	32,6	32,6	75
	2020-03-04	39,7	39,9	52

Para prevenir ataques fúngicos se aplicó semanalmente Carbendazim®, mediante pulverización con mochila en dosis de 0,25 cm³ L⁻¹ de agua. Para la provisión de nutrientes, se utilizó el mismo método, vía pulverización con mochila, incorporando fertilizante foliar NPK grado equivalente: 25-14-8 en dosis de 4 g L⁻¹ de agua, de marca comercial Yoguen® N°3 con una aplicación semanal durante la fase de crecimiento rápido hasta el inicio de la fase de endurecimiento. A los 40 días de la siembra, se aplicó la técnica de disminución de la densidad dentro de la bandeja a todos los tratamientos, debido a la falta de espacio para crecimiento individual, moviendo los contenedores de manera que las plantas quedaran separadas por una cavidad vacía. En esta etapa del crecimiento, es una práctica habitual en el manejo de plantas en contenedores que permite disminuir la competencia dentro de la bandeja y mejorar el incremento en diámetro.

Las variables evaluadas fueron: diámetro a la altura de cuello (DAC), medición realizada con calibrador digital pie de rey de 150 mm de alcance; altura total (Ht), medición realizada con reglas de precisión con 1 mm de resolución, tomada desde el cuello de la raíz hasta el ápice; peso seco radical (PSR), aéreo (PSA) y total (PST).

La medición de los parámetros morfológicos DAC y Ht tuvo una frecuencia semanal y se realizó a partir de los 34 días de la siembra sobre la totalidad de las plantas (486). Los parámetros PST, PSA y PSR se registraron a los 105 días de la siembra, etapa que se corresponde con la etapa final en vivero y previa a la plantación en campo. La biomasa de la planta se determinó mediante método destructivo, utilizando nueve plántulas por tratamiento. Se separaron la parte aérea y la radical para su posterior secado en estufa con circulación forzada de aire a 72 °C durante 48 horas. El registro del peso seco se realizó en balanza electrónica de 0,001 g de resolución. A partir de los



atributos morfológicos citados anteriormente, se calcularon los siguientes índices:

La *relación biomasa aérea y biomasa radical* (PSA/PSR), que representa la relación de pesos entre el tejido que evapotranspira y fotosintetiza (parte aérea) y el tejido que absorbe agua, nutrientes y a la vez consume carbohidratos a través de la respiración (raíces).

El *índice de esbeltez* (IE) (Thompson, 1985), que es el cociente o razón entre la altura total de la planta (cm) y su DAC (mm), es un indicador de la densidad de cultivo.

El *índice de calidad de planta* (Dickson et al., 1960), que representa la calidad morfológica, a mayor valor de este índice mayor es la calidad de planta, y se calcula mediante la ecuación:

$$ICD = \frac{PST}{IE + \frac{PSA}{PSR}}$$

donde:

PSA = peso seco aéreo (g)

PSR = peso seco radical (g)

PST = peso seco total (g)

Análisis estadístico

Para determinar los efectos de los tratamientos ensayados, se efectuaron mediciones longitudinales y se evaluaron las variables DAC y Ht mediante análisis de varianza utilizando modelos lineales mixtos. Se fijaron como efectos fijos el tratamiento, el tiempo y la interacción entre ambas variables. Se incorporó el efecto de modelar la correlación de datos proveniente de una misma parcela con correlación por simetría compuesta y la varianza heterogénea con función de varianza exponencial. Los demás parámetros (PSA, PSR, PSA/PSR, IE e ICD) fueron evaluados mediante análisis de varianza en la medición a los 105 días de la siembra, habiéndose determinado el cumplimiento de los supuestos. Para establecer patrones de diferencias, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples propuesta por Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) con un nivel de significación de 0,05 (Di Rienzo et al., 2020). Los análisis

estadísticos se realizaron con el programa Infostat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evolución del DAC presentó un marcado ascenso en el ciclo de crecimiento para cada uno de los tratamientos. Se registró un cambio general en el ritmo de crecimiento a inicio del mes de enero, cuando las condiciones climáticas se tornan más extremas con altas temperaturas y baja humedad relativa (39 °C a 42 °C de temperatura máxima y 49% a 62% de humedad relativa) (Tabla 2), retomándose el ritmo de crecimiento hacia fines de enero. La altura también presentó una evolución ascendente, con leves cambios para cada tratamiento según las fechas en que inició la fase de endurecimiento (Fig. 1).

Con respecto a la evolución del DAC en el tiempo, para cada tratamiento se puede decir que no se percibieron grandes diferencias en las primeras semanas de medición (34 días a 69 días possiembra); sin embargo, a partir de allí se registraron diferencias significativas entre tratamientos (valor de F 61,4 p<0,0001) e interacción significativa de los tratamientos en relación con el tiempo (valor de F 5,6 p<0,0001), con interacciones principalmente entre los tratamientos E60 y E25. Cabe destacar que, a partir de los tres días del comienzo de la etapa de endurecimiento, en el tratamiento E60 (48 días possiembra) se evidenció un cambio más acentuado en la evolución del DAC, alterándose el ritmo de crecimiento, producto del estrés hídrico y radiación solar plena. El comportamiento observado coincide con lo señalado por García-Pérez et al. (2015), quienes sostienen que las respuestas morfológicas en condiciones de intemperie generan reducción del crecimiento principalmente en altura, pero en el transcurso de esta etapa de desarrollo incrementan el diámetro y la biomasa, además de promover el crecimiento de la raíz a causa de un moderado estrés. A menudo, el diámetro ha sido considerado uno de los mejores predictores de la supervivencia y crecimiento en campo. De acuerdo con los resultados de este estudio, los tratamientos E60 y E25 podrían presentar un mejor establecimiento en campo debido a que registraron el mayor crecimiento en ambas

fases de vivero. Esto coincide con lo expresado por diversos autores (Omi et al., 1986; Blake et al., 1989), quienes expresan que para *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus taeda* el diámetro en vivero estuvo altamente correlacionado con el crecimiento del primer año en campo; también concuerda con lo observado por Ávila-Angulo (2017), quien registró que la reducción del riego para *P. oaxacana* en fase de endurecimiento aumentó el diámetro del cuello de la raíz sin afectar el crecimiento del sistema radical. Sin embargo, no todas las especies muestran variaciones en los mismos caracteres ni la intensidad de variación es la misma. Vilagrosa et al. (2006) observaron que en algunas especies como *Quercus ilex*, *Pinus halepensis* y *P. pinea*, se muestra una reducción de la capacidad para formar nuevas raíces al ser endurecidas por estrés hídrico. El tratamiento E15 presentó un crecimiento diferente en DAC, menor a los demás, comportamiento que se mantuvo hasta el fin del ciclo de vivero (Fig. 1). Los diámetros registrados en este estudio ($2,5 \pm 0,1$ a $3,5 \pm 0,1$) mm superan a los medidos por Fontana et al. (2017) en estudios de diferentes orígenes de *Prosopis alba* en plantas con igual ciclo de vivero ($2,3 \pm 0,3$ a $3,1 \pm 0,4$) mm.

La altura, al inicio del ciclo de mediciones, presentó igual comportamiento que el DAC, con diferencias significativas entre tratamientos (valor de $F 42,1$ $p < 0,0001$) e interacción significativa de los tratamientos con el tiempo (valor de $F 2,5$ $p < 0,0004$). A partir de los 47 días posteriores a la siembra, el registro de alturas para el tratamiento E60 evidenció una disminución en el ritmo de crecimiento mientras los demás tratamientos no registraron cambios notables (Fig. 1). Este cambio en la evolución de la altura se registró también para la variable DAC en la misma fecha y fue atribuible al cambio de condiciones de radiación y disminución del riego que se presentaron ante el inicio de la fase de endurecimiento en el T1 (45 días possiembra). La evaluación de los parámetros morfológicos al final del ciclo, a 105 días desde la siembra, mostró diferencias significativas en DAC a favor de los tratamientos E60 y E25 (valor de $F 7,3$ $p < 0,003$) con valores de 3,11 mm a 3,5 mm, con respecto al tratamiento E15 con 2,5 mm. Sin embargo, no hubo diferencias entre E60 y E25. La altura no mostró diferencias significativas entre tratamientos (valor de $F 0,2$ $p < 0,82$), con un promedio entre 29 cm y 31 cm (Fig. 2, Tabla 3).

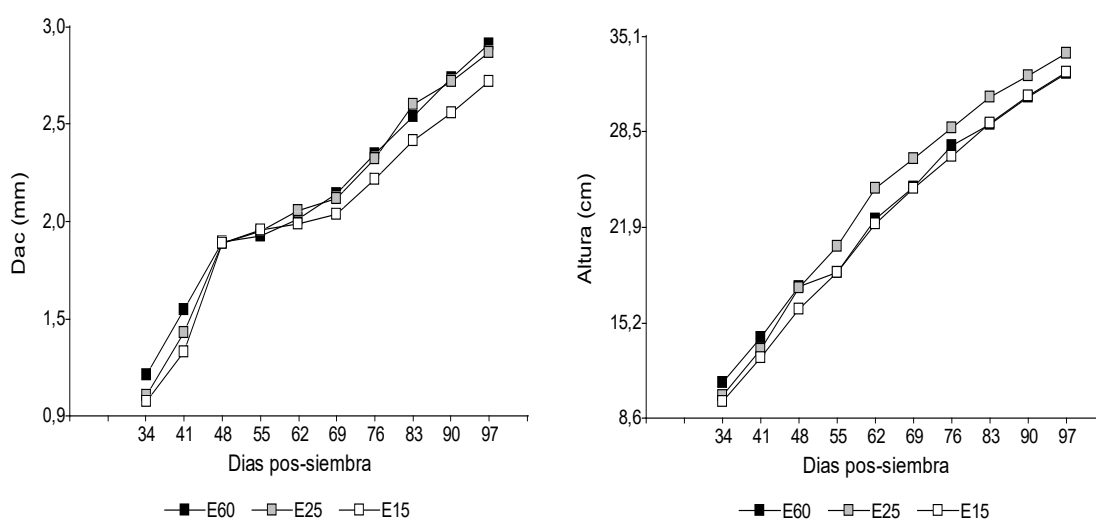


FIGURA 1. Crecimiento del DAC (mm) y altura (cm) en relación con el tiempo para los tratamientos (E60, E25 y E15) durante las fases de crecimiento rápido y fase de endurecimiento de plántulas de *Prosopis alba*.

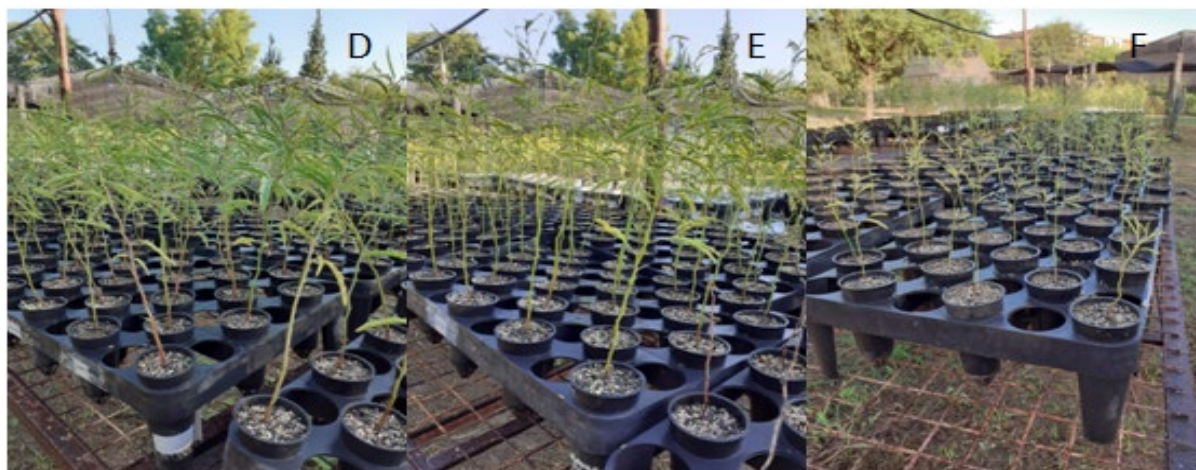


FIGURA 2. Plantas de *Prosopis alba* de cada uno de los tratamientos.
D: tratamiento E60, E: tratamiento E25 y F: tratamiento E15.

TABLA 3. Parámetros e índices morfológicos de plántulas de algarrobo blanco, 105 días posteriores a la siembra para una duración de la fase de endurecimiento de 60 días (E60), 25 días (E25) y 15 días (E15).

Parámetros morfológicos e índices	E60	E25	E15
DAC (mm)	3,56±0,18A	3,11±0,18A	2,56±0,18B
Altura (cm)	31,61 ±2,7A	30,83 ±2,7A	29,22 ±2,7A
PSA (g)	1,45± 0,15 A	0,86 ± 0,15B	0,66 ± 0,15 B
PSR (g)	1,06 ± 0,07 A	0,66 ± 0,07 B	0,42± 0,07 C
PSA/PSR	1,3 ± 0,2 A	1,3 ± 0,2 A	1,6 ± 0,2 A
IE	8,8±0,7B	9,9±0,7AB	11,5±0,7A
IC	0,25 ± 0,01 A	0,13 ± 0,01 B	0,09 ± 0,01 C

Los valores en la tabla expresan la media ± error estándar. Letras iguales para cada fila simbolizan que las medias no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) en test DGC. DAC= diámetro a la altura de cuello, PSA= peso seco aéreo, PSR= peso seco radicular, PSA/PSR= peso seco aéreo/radical, IE= índice de esbeltez e IC= índice de Dickson.

Con respecto al crecimiento aéreo se evidenció que el E60 presentó el mayor peso seco (PSA) con respecto a los demás tratamientos (Fig. 3, Tabla 3), con diferencias significativas (valor de F 7,5 $p < 0,002$). El peso seco radicular (PSR) también registró un mayor valor para el E60, con marcada diferencia entre los tratamientos (valor de F 20,01 $p < 0,0001$) (Tabla 3).

Los tratamientos E60 y E25 presentaron mayor producción de biomasa PSA y mayor desarrollo de raíces (PSR) con respecto a E15 lo que podría atribuirse a la mayor duración de la fase de endurecimiento. Estos resultados coinciden con las apreciaciones de diversos autores (Buamscha y Escobar 2012; Escobar y González 1987), quienes sostienen que en la primera parte de la fase de endurecimiento se genera la disminución en el ritmo de

crecimiento en altura de la planta y, hacia la segunda parte de esta fase, los fotosintatos son redirigidos al fortalecimiento de las raíces principalmente produciéndose el mayor incremento en el crecimiento radicular (Fig. 3). Este comportamiento podría resultar de un leve estrés hídrico durante el período de elongación rápida del tallo que puede reducir la biomasa aérea sin afectar negativamente la biomasa radical (Mexal, 2012).

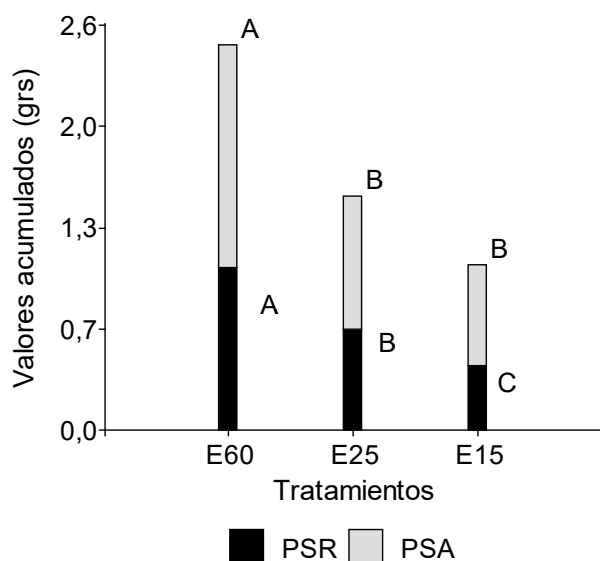


FIGURA 3. Representación de la biomasa aérea (PSA) y radicular (PSR) considerando una duración de la fase de endurecimiento de 60 días (E60), 25 días (E25) y 15 días (E15).

Letras iguales simbolizan que las medias en cada variable no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) en test DGC

La relación PSA/PSR varió entre 1,3 y 1,6 no registrándose diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 3). Estos resultados difieren de los obtenidos por Chirino Miranda et al. (2004), quienes concluyeron para *Q. suber* que periodos de endurecimiento más largos producían una reducción de aproximadamente 50% de la biomasa aérea obteniendo PSA/PSR más adecuadas en condiciones de aridez. Los valores registrados para PSA/PSR fueron mayores a los encontrados por Dalmasso et al. (1994) para *Prosopis chilensis* y levemente superiores en DAC a los registrados por et al.

(2016) para *Prosopis alba* a los 120 días en Concordia, e iguales en valores respecto a la experiencia de los mismos autores en Santiago del Estero.

Estudios previos en *Prosopis alba* presentan una relación PSA/PSR relativamente baja (0,62), lo que podría indicar una mayor capacidad de absorción de la planta en relación con la superficie evapotranspirante (Senilliani et al., 2020; Reyes et al., 2005). Este atributo, por su relación con la economía hídrica de la planta, es particularmente importante en climas secos (Navarro et al., 2006). Sin embargo, en este estudio la relación PSA/PSR fue mayor a 1, lo que resultó en un mayor peso de biomasa aérea, donde el DAC con una mayor magnitud generó las diferencias percibidas. Se podría plantear que la relación PSA/PSR por sí sola no provee de una información completa acerca del potencial de crecimiento de una planta y que la magnitud del DAC, principal parámetro en la predicción de la supervivencia de la planta (Rose et al., 1990), ejerce una influencia notable sobre dicha relación.

El índice de esbeltez, indicador de la densidad de cultivo, en el presente estudio mostró diferencias significativas (valor de $F 3,2$ $p < 0,04$) entre tratamientos. Los tratamientos E60 y E25 presentaron valores de 8,8 a 9,9 mientras que el tratamiento E15 registró un valor de 11,5 (Tabla 3). En concordancia con Quiroz Marchant et al. (2009), quienes plantean valores en el IE entre 5 y 10 para una buena calidad de planta y valores mayores a 10 para una planta alta y desproporcionada con respecto al diámetro, se puede inferir que los resultados obtenidos en este estudio indicarían que ambos tratamientos, E60 y E25, definen una planta mejor proporcionada, con alturas similares entre tratamientos pero con diámetros superiores con respecto a E15.

La variación en el índice de calidad de planta (ICD) registró resultados claros a favor del tratamiento E60. Se considera que entre más alto el ICD mejor será la calidad de planta (Dickson et al., 1960), mejorando la adaptación a condiciones ambientales. Esto sugiere que una fase de endurecimiento más prolongada produce una mejor calidad de planta en relación con los demás tratamientos, con diferencias altamente significativas (valor de $F 31,4$ $p <$



0,0001) (Tabla 2). El ICD fue similar en comparación con valores obtenidos por Senilliani et al. (2020) en experiencias previas donde se obtuvo, para *Prosopis alba*, un ICD de 0,27. Otros estudios de calidad de planta en *Prosopis laevigata*, realizados por López Martínez (2014), arrojaron valores cercanos de ICD de 0,19 a 0,21. Senilliani et al. (2020) registraron valores de ICD de 0,27 y DAC promedio de 2,4 mm \pm 0,12 mm en *Prosopis alba*; cabe destacar que en este estudio se obtuvo una planta con un ICD similar a esa experiencia pero con un DAC mayor (3,1 mm a 3,5 mm) con similar duración en el ciclo productivo (105 días) (Tabla 3).

CONCLUSIONES

Una mayor duración en la fase de endurecimiento en vivero influye positivamente en la calidad de planta de *P. alba*. El tratamiento con mayor duración en la fase de endurecimiento (60 días) resultó el manejo más adecuado para la especie, generando mejores atributos morfológicos, principalmente 60% a 140% más en el crecimiento de biomasa radicular y un valor del ICD 90% a 140% más alto con respecto a los demás tratamientos.

En cuanto al DAC, los mayores valores se presentan con fases de endurecimiento de 60 días y 25 días. Estos parámetros morfológicos contribuirán a mejorar el potencial de crecimiento de una planta destinada a forestación en regiones semiáridas, influyendo en la adaptación a las condiciones ambientales locales.

REFERENCIAS

- Ávila-Angulo, M., Aldrete, L., Vargas-Hernández, A., Gómez-Guerrero, J., González-Hernández, A., & Velázquez-Martínez, A. (2017). Hardening of *Pinus oaxacana* Mirov seedlings under irrigation management in nursery. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(2), 221-229. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.05.029>
- Blake, J., Teeter, L. & South, D. (1989). Analysis of the economic benefits from increasing uniformity in Douglas-fir nursery stock. En W. L. Mason, J. D. Deans, & S. Thompson (Eds.), *Producing uniform conifer planting stock. Forestry, Supplement to vol. 62*. Oxford University Press.
- Buamscha, G., & Escobar, R. (2012). Sustrato o medio de crecimiento. En L. T. Contardi, H. E. Gonda, G. Tolone, & J. Salimbeni (Coords.), *Producción de plantas en viveros forestales* (pp. 89–98). CFI-Ciefap-Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- Chirino Miranda, E., Vilagrosa Carmona, A. & Rubio Aniorte, E. (2004). Efectos de la reducción del riego y la fertilización en las características morfológicas de *Quercus suber*. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 17, 51-56.
- 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*, 3, 35-43.
- Dickson, A., Leaf, A., & Hosner, J. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10–13.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., González L., Tablada, E., Díaz, M., Robledo, C., & Balzarini, M. (2020). InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.
- Dumroese, K., Douglas, F., & Wilkinson, K. (2012). Fases de cultivo: establecimiento y crecimiento rápido. En L. T. Contardi, H. E. Gonda, G. Tolone, & J. Salimbeni (Coords.), *Producción de plantas en viveros forestales* (pp. 133-140). CFI-Ciefap-Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- Escobar, R. (2012). Fases de cultivo: endurecimiento. En L. T. Contardi, H. E. Gonda, G. Tolone, & J. Salimbeni (Coords.), *Producción de plantas en viveros forestales* (pp. 146-164). CFI-Ciefap-Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- Escobar, R., & González, C. (1987). Evolución de nutrientes en plantas de pino radiata durante el acondicionamiento. Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Forestales. Vol. IV (pp. 205-218). CIEF.
- Fontana, M., Pérez, V., & Luna, C. (2017). Efecto del origen geográfico en la calidad morfológica de plantas de *Prosopis alba* (Fabaceae) *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 593-604. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33383>
- García-Pérez, J., Aldrete, A., López-Upton, J., Vargas-Hernández, J., & Prieto-Ruiz, J. (2015). Efecto de la condición ambiental y la fertilización en el preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. En vivero. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 38(3), 297–304.
- López Martínez, P., Villalón Mendoza, H., Yerena Yamalle, J., Jiménez Pérez, J., Guevara González, J., & Martínez Barrón, R. (2014). Sistemas de riego para la producción de planta de *Prosopis laevigata* (Humb & Bonpl. Ex. Wild), M.C. Johnst. En vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 10(2), 45–51.
- Fernández Martínez, M. (2008). Endurecimiento en vivero de especies leñosas mediterráneas destinadas a plantación forestal. *Cuadernos*

de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 28, 13-24. Actas de la IV Reunión sobre Repoblaciones Forestales.

Mexal, J. (2012). Calidad de plantines: atributos morfológicos. En L. T. Contardi, H. E. Gonda, G. Tolone, & J. Salimbeni (Coords.), *Producción de plantas en viveros forestales* (pp. 41-69). CFI-Ciefap-Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Nación [MAGyP] (1998). Ley 25080 para Inversión en Bosques Cultivados.

<http://forestindustria.magyp.gob.ar/archivos/normativas/resolucion-reglamentaria-33-2013-anexos.pdf>

Morello, J. Matteucci, S. D., Rodríguez, A. F., Silva, M. E., & De Haro, J. C. (2012). *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos* (1a ed.), Universidad de Buenos Aires.

Navarro, R., Villar, P., & del Campo, A. (2006). Morfología y establecimiento de los plantones. En Cortina, J., Peñuelas, J. L., Puértolas, J., Savé, R., & Vilagrosa, A. (Eds.), *Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos. Estado actual de conocimientos* (pp. 67-87). Ministerio de Medio Ambiente.

Omi, S. K., Howe, G. T., & Duryea, M. L. (1986). First-year field performance of Douglas-fir seedlings in relation to nursery characteristics. En T. D. Landis (Coord.), *Proceedings, combined Western Forest Nursery Council and Intermountain Nursery Association meeting* (pp. 29-34) (General Technical Report RM 137). USDA Forest Service.

Quiroz Marchant, I., García Rivas, E., González Ortega, M., Chung Guin-Po, P., & Soto Guevara, H. (2009). *Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta*. INFOR Sede Bío-Bío.

Reyes, J., Aldrete, A., Cetina Alcalá, V.M., & López Upton, J. (2005). Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. Apulencis en sustratos a base de aserrín. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, IX(2), 105-110.

Rose, R., Campbell, S., & Landis, T. D. (1990). *Target seedling symposium: proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations*. (General Technical Report). USDA Forest Service.

Salto, C., Harrand, L., Oberschelp, J., & Ewens, M. (2016). Crecimiento de plantines de *Prosopis Alba* en diferentes sustratos, contenedores y condiciones de vivero. *Bosque*, (37), 527-37.

Senilliani, M. G., Guzmán, A., Alvarez, P., & Brassiolo, M. (2020). Fases de crecimiento en *Prosopis Alba* y uso de sustratos locales. 3er

Congreso Internacional del Gran Chaco Americano. Santiago del Estero, Argentina.

Thompson, B. E. (1985). Seedling morphology: what you can tell by looking. En M. L. Duryea (Ed.), *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests* (pp. 59-71). Oregon State University.

Vilagrosa, A., Villar Salvador, P., & Puértolas J. (2006). El endurecimiento en vivero de especies forestales mediterráneas. En En Cortina, J., Peñuelas, J. L., Puértolas, J., Savé, R., & Vilagrosa, A. (Eds.), *Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos. Estado actual de conocimientos* (pp. 119-140). Ministerio de Medio Ambiente.

Villar Salvador, P., Peñuelas Rubira, J., Carrasco Manzano, I. (2000). Influencia del endurecimiento por estrés hídrico y la fertilización en algunos parámetros funcionales relacionados con la calidad de la planta de *Pinus pinea*. *Actas del 1er Simposio sobre el Pino Piñonero*, 1, 211-218

Zárate, M. (2016). Efecto de la poda, el distanciamiento y su interrelación sobre el crecimiento y la calidad forestal de plantas de *Prosopis Alba* Griseb en la zona de riego de Santiago del Estero [Tesis de maestría, Universidad de Buenos Aires Argentina].

Manuscrito recibido el 24 de agosto de 2021

Aceptado el 31 de marzo de 2022

Publicado el 20 de julio de 2022

Este documento se debe citar como:

Senilliani, M. G., Guzmán, A., Alvarez, P., & Brassiolo, M. (2022). ¿Una fase de endurecimiento más prolongada mejora la calidad de planta en *Prosopis alba* Griseb? *Madera y Bosques*, 28(1), e2812409. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812409>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.