

Efecto del origen geográfico en la calidad morfológica de plantas de *Prosopis alba* (Fabaceae)

María Fontana^{1,2}, Víctor Pérez³ & Claudia Luna^{1,4}

1. Cátedra de Silvicultura, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste, Sargento Cabral 2131, Corrientes, Argentina; lfontana@agr.unne.edu.ar
2. Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ruta Nacional 95 km. 1108, Presidencia Roque Sáenz Peña, Argentina; fontana.maria@inta.gov.ar
3. Cátedra de Silvicultura, Facultad de Recursos Naturales, Universidad Nacional de Formosa, Av. Dr. Luis Gutinsky 3200, Formosa, Argentina; victorforestal8@gmail.com
4. Instituto de Botánica del Nordeste (IBONE)-CONICET, Sargento Cabral 2131, Corrientes, Argentina; clauverluna@gmail.com

Recibido 22-XII-2017. Corregido 06-II-2018. Aceptado 07-III-2018.

Abstract: Effect of geographic origin on morphological qualities of the plant *Prosopis alba* (Fabaceae).

Seed provenance has a genetic control over the behavioral characteristics of plants, whereby selection is an useful tool to achieve the maximum adaptation of the species to the environment. In this sense, different provenance materials characterization provides information for choosing seed sources used in breeding programs, as well as afforestation and/or reforestation projects. The aim of this work was established provenance's effect on morphological variables that constitute quality parameters in *Prosopis alba* seedlings from three geographic areas. Morphological plants' variables were measured up to 150 days after planting. Provenance effect was significant for most of measured variables: plant's height, neck diameter (at least during the first 3 months of nursery), root volume, specific leaf weight and specific leaf area. Likewise, some of the morphological indices and quotients considered variables to determine plants' quality are affected by material's geographical origin: shoot length/root length proportion, slenderness coefficient and index. Results allow affirming *P. alba*'s provenance influences plants' morphology determining the existence of two different groups: on one hand Santiago del Estero and Chaco provenances, and on the other, Salta Norte origin. Rev. Biol. Trop. 66(2): 593-604. Epub 2018 June 01.

Key words: Algarrobo blanco; plants production; origin; nursery; morphometric classification.

Prosopis alba (Griseb.) es una Fabácea arbórea de importancia regional debido a su diversidad de usos: madereros, alimenticios, forrajeros y medicinales (Demaio, Karlin, & Medina, 2015). Resulta una especie a considerar para restauración ambiental de áreas degradadas o en sistemas sustentables de producción forestal pues tolera sequía, condiciones edáficas adversas (salinidad y alcalinidad), napas freáticas altas (Villagra, 2000) y tiene la capacidad de fijar nitrógeno de forma biológica al establecer relaciones simbióticas con diferentes géneros de rizobacterias (Iglesias et al., 2007).

No obstante, la forestación con especies nativas se encuentra limitada por la escasez

de materiales básicos como semillas y plantas (Salto, García, & Harrand, 2013) que sean el resultado de programas de mejora genética y estudios de técnicas de viverización de cada especie.

La presencia de alta diversidad genética y amplia distribución, son elementos que ayudan a sustentar un programa de mejoramiento genético a largo plazo, pero se requiere incrementar el conocimiento sobre biología de la especie, dinámicas poblacionales y caracteres heredables. Alta variación en porcentajes de germinación de semillas con diferentes procedencias y alto crecimiento inicial en condiciones de competencia a campo son características relevantes

para la selección de progenitores sobresalientes para emprender un programa de mejoramiento genético en cualquier especie (Villegas-Jiménez, Rodríguez-Ortiz, Chávez-Servia, Enriquez-Del-Valle, & Carrillo-Rodríguez, 2016).

La procedencia de la semilla corresponde al área geográfica y ambiental de donde se obtuvo el germoplasma y dentro del cual se ha desarrollado su constitución genética (Quino-Pascual, 2013), y la relevancia de la misma resulta del control genético que tiene sobre caracteres de comportamiento tales como la supervivencia, crecimiento y producción de las plantas. Si bien se considera cierto que los factores genéticos de la especie pueden ser invariables dentro del proceso de cultivo de plantas forestales en vivero, la selección de procedencias constituye una herramienta muy útil para lograr la máxima adaptación de la especie al medio natural en el que será ubicada (Navarro & Palacios, 2004). En este sentido, la caracterización de materiales de diferentes orígenes geográficos brinda información necesaria para la selección de las fuentes de semilla utilizables en programas de mejora, así como en proyectos de forestación y/o repoblación (Fontana, Pérez, & Luna, 2015).

Los factores genéticos de la especie son parámetros determinantes de la calidad de los plantines forestales (plantas cultivadas en vivero y en condiciones de ser trasplantadas al campo), entendiéndose como tal al conjunto de atributos que permitan garantizar su capacidad para establecerse y crecer exitosamente en terreno (Quiroz, García, González, Chung, & Soto, 2009). La caracterización de las plantas comprende dos grandes tipos de atributos: morfológicos y fisiológicos (Chavasse, 1980). Si bien la combinación de ambos determina la calidad final, se han empleado únicamente atributos morfológicos cuantitativos para caracterizar la aptitud de una planta (Mexal & Landis, 1990; Villar-Salvador, 2003) y numerosos autores han informado sobre la utilidad que proporcionan al momento de la toma de decisiones (Thompson, 1985; Toral, 1997; Birchler, Rose, Royo, & Pardos, 1998; Oliet, 2000; Prieto-Ruiz, Vera, & Merlín, 2003).

El objetivo de este trabajo fue establecer el efecto de la procedencia sobre las variables morfológicas que constituyen parámetros de calidad en plantines de *P. alba* provenientes de tres áreas geográficas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material vegetal. Se trabajó con plantines de *P. alba* logrados a través de la siembra de semillas cedidas por el proyecto INTA PNFOR 1104063 provenientes de 3 rodales semilleros: 1) *P. alba* “santiagoño” (27°52'44" S - 64°9'16" W), a 15 km al sudeste de la ciudad de Santiago del Estero a orillas del río Dulce, con temperatura media anual de 20.7 °C y 579 mm precipitación media/año; 2) *P. alba* “chaqueño” (24°15'58" S - 61°54'00" W), en el extremo oeste de la provincia de Formosa a orillas del río Bermejo; temperatura media anual de 22.8 °C y precipitación media de 678 mm/año y 3) *P. alba* “Salta Norte” (22°12'10" S - 63°40'33" W), en el extremo norte de la provincia de Salta, con temperatura media anual de 21.9 °C y precipitación media de 1054 mm/año.

Conducción en vivero. La siembra fue realizada en abril 2015 según lo recomendado por DPF-INTA (2014) en invernáculo para poder controlar la temperatura, de modo que ésta sea mayor a la del ambiente externo y así lograr una buena germinación y crecimiento.

Se utilizaron bandejas monoblock de 40 alvéolos troncocónicos (12 cm de altura y 125 cm³ de capacidad) con un sustrato compuesto por 30 % de suelo + 45 % de sustrato orgánico La Lila[®] + 15 % perlita agrícola + 10 % carbón. Las semillas fueron escarificadas mecánicamente mediante lijado manual seguido de imbibición en agua a temperatura ambiente por 24 hs. Al momento de la siembra, se aplicaron 0.6 g/celda de fertilizante Osmocote[®] (N: P: K 18:5:9, 180 días de liberación).

El cultivo se efectuó en invernáculo provisto de termómetro y psicrómetro para el registro de humedad relativa. La radiación PAR dentro del mismo fue asentada a las 12

hs. durante todo el ensayo y mediante un sensor cuántico LI-190R; se registraron valores de 1 600 a 1 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Las temperaturas mensuales media para los 5 meses de evaluación fueron de 27.7 °C (abril), 24.2 °C (mayo), 23.3 °C (junio), 21.1 °C (julio) y 25.6 °C (agosto); mientras que la humedad relativa osciló entre el 50 y 80 %.

El riego fue manual con regadera y se determinó la 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 C2S1 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 de raíces.

Medición de caracteres morfométricos de las plantas. A los 30, 60, 90, 120 y 150 días posteriores a la siembra se registraron las variables altura (H) desde el nivel del substrato hasta el ápice de la planta (Chavasse, 1980) mediante el uso de regla metálica graduada en mm y diámetro a la altura de cuello (DAC) (Puttonen, 1997) medido con un calibre graduado en mm. Al finalizar el ensayo se midió longitud de raíz (LR) (Böhm, 1979); volumen de raíz (VR) y de la parte aérea (VA) (Harrington, Mexal, & Fisher, 1994); pesos secos de la raíz (PSR) y la parte aérea (PSA) (South, 2000), secando el material vegetal en estufa a 80 °C hasta peso constante; área foliar (AF) empleando un medidor de área foliar LiCor modelo Li-3000; peso foliar específico (PFE) (Luna, 2010): cociente entre el peso seco de hojas y el AF y, área foliar específica (AFE) (Poorter & De-Jong, 1999): cociente entre el AF y el peso seco de hojas.

Con los datos obtenidos se calcularon índices y coeficientes: relación parte aérea/parte radical (PA/PR) a partir de los pesos secos de la parte aérea y radical; relación longitud parte aérea/parte radical (LPA/LPR); coeficiente de esbeltez (CE) (Oliveira, 1988): cociente entre la altura de la planta y el DAC; índice de esbeltez de Schmidt-Vogt (1980): $IE = \text{DAC}(\text{mm})/[(\text{altura}(\text{cm})/10)+2]$ e índice de

calidad de Dickson (Dickson, Leaf, & Hosner, 1960): $ICD = \text{PST}(\text{g})/(\text{CE} + \text{relación parte aérea/parte radical})$.

El ensayo se condujo siguiendo un diseño en bloques completos al azar con tres tratamientos (36 plantas/tratamiento) y tres repeticiones. Los datos fueron tratados estadísticamente con el software Infostat versión 2011 (Di-Rienzo et al., 2011). Inicialmente se analizaron las variables DAC y altura de los registros de las cinco edades medidas estimándose las medidas de tendencia central para resumir la variabilidad generalizada. Se efectuó un análisis de la varianza (ANAVA) y se compararon las medias de los tratamientos a través de la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$). Posteriormente se sometió a los datos morfológicos correspondientes a los 150 días a un ANAVA tomando cada variable en particular y a un análisis multivariado de la varianza (MANOVA) considerando al conjunto de los mismos (H, DAC, LR, VR, VA, PSR, PSA, PSt, PSh, AF, PFE y AFE). Finalmente se efectuó el ANAVA y la comparación de medias (Duncan, $P \leq 0.05$) de los índices y coeficientes calculados.

RESULTADOS

El ANAVA evidencia un efecto significativo de la procedencia en los primeros 3 meses para la variable DAC (30 días: $F= 5.83$, $P= 0.0036$; 60 días: $F= 6.23$, $P= 0.0025$; 90 días: $F= 6.45$, $P= 0.0020$) y para todo el período evaluado en el caso de la variable H (30 días: $F= 11.66$, $P= < 0.0001$; 60 días: $F= 4.15$, $P= 0.0176$; 90 días: $F= 15.08$, $P= < 0.0001$; 120 días: $F= 18.73$, $P= < 0.0001$; 150 días: $F= 22.15$, $P= < 0.0001$).

La procedencia chaqueña manifiesta valores bajos en etapas iniciales y luego se iguala a las demás. El DAC asentado es significativamente inferior al resto hasta los 90 días. Similarmente, inicia siendo la de menor altura a los 30 días para luego, a los 90 días, diferenciarse y superar por completo a las otras dos (Cuadro 1).

El efecto de la procedencia no fue significativo para las variables LR, VA, PSR, PSA

CUADRO 1
Medidas resumen para DAC y altura de plantas de *P. alba* de tres procedencias a los 30, 60, 90, 120 y 150 días desde la siembra

TABLE 1
Summary measures for DAC and height from three *P. alba*'s plants provenances at 30, 60, 90, 120 and 150 days after sowing

Días	P	DAC (mm)					Altura (cm)				
		Media	Mín.	Máx.	DE	CV	Media	Mín.	Máx.	DE	CV
30	SN	1.01 ^b	1.00	1.10	0.03	2.62	8.49 ^b	5.00	12.00	1.31	15.72
	Ch	0.99 ^a	0.80	1.10	0.05	4.99	7.20 ^a	3.80	11.50	1.77	24.63
	Sg	1.01 ^b	0.90	1.20	0.04	3.78	8.56 ^b	5.00	12.50	1.82	21.21
60	SN	1.90 ^b	1.25	2.25	0.21	11.25	15.83 ^{ab}	11.00	21.40	2.03	12.81
	Ch	1.76 ^a	1.00	2.00	0.25	14.07	16.83 ^b	12.00	22.00	2.43	14.85
	Sg	1.89 ^b	1.00	2.25	0.24	12.51	15.05 ^a	9.00	22.00	2.71	18.01
90	SN	2.43 ^b	2.00	3.00	0.35	14.48	22.36 ^a	15.00	27.80	2.56	11.43
	Ch	2.21 ^a	2.00	3.00	0.27	12.35	25.31 ^b	15.50	31.50	3.37	13.30
	Sg	2.39 ^b	1.90	3.00	0.35	14.81	22.89 ^a	12.00	29.30	2.95	12.90
120	SN	3.01 ^a	2.00	4.00	0.41	13.50	23.03 ^a	14.50	28.50	2.69	11.69
	Ch	3.07 ^{ab}	2.50	4.00	0.31	10.19	26.08 ^b	15.00	32.00	3.52	13.50
	Sg	3.17 ^b	2.00	4.00	0.43	13.72	22.88 ^a	12.00	29.00	2.94	12.84
150	SN	3.58 ^a	3.00	4.10	0.39	10.96	31.01 ^a	18.00	43.00	4.22	13.61
	Ch	3.62 ^a	3.00	5.00	0.47	13.07	37.06 ^b	20.00	50.40	5.68	15.31
	Sg	3.51 ^a	2.90	5.00	0.52	14.77	31.59 ^a	15.50	40.50	5.62	17.80

P: Procedencia; SN: Salta Norte; Ch: chaqueño; Sg: santiagueño. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, $P \leq 0.05$).

P: Provenance; SN: Salta Norte; Ch: chaqueño; Sg: santiagueño. Different letters indicate significant statistical differences (Duncan, $P \leq 0.05$).

y PSt, pero si lo fue para PSh ($F = 3.59$, $P = 0.0414$) donde las procedencias Salta Norte y santiagueña se diferenciaron estadísticamente.

El AF no fue afectado por la procedencia.

Para VR si hubo efecto de la procedencia ($F = 9.09$, $P = 0.0010$) siendo la chaqueña estadísticamente inferior a las demás. Del mismo modo, para PFE y AFE el efecto de la procedencia resultó significativo ($F = 4.28$, $P = 0.0243$), resultando la procedencia santiagueña estadísticamente diferente a las demás (Cuadro 2).

El análisis multivariado realizado para corroborar que las procedencias determinan plantas de distinta morfología resultó significativo ($F = 2.15$, $P = 0.0224$) y mostró dos grupos estadísticamente diferentes, distinguiendo a Salta Norte de las otras dos procedencias (Cuadro 2).

Analizando los índices y coeficientes calculados a partir de las variables morfológicas se observa que la procedencia no tiene un efecto significativo sobre la relación PA/PR ($F = 2.64$, $P = 0.0898$). Para LPA/LPR ($F = 5.12$, $P = 0.0131$) el rodal chaqueño difiere estadísticamente de los dos restantes. En cuanto a CE ($F = 9.07$, $P = 0.0010$), los valores obtenidos sugieren dos categorías estadísticamente diferentes: por un lado, la procedencia chaqueña -con un CE mayor, y por otro lado las procedencias Salta Norte y santiagueña. Por su parte y en base a los resultados obtenidos del IE ($F = 7.53$, $P = 0.0025$), las procedencias Salta Norte y santiagueña se diferencian de la procedencia chaqueña. Con respecto al ICD los valores observados indican que las procedencias no se diferencian estadísticamente ($F = 1.75$, $P = 0.01935$; Cuadro 3).

CUADRO 2

Valores medios \pm desvío estándar (DE) de caracteres morfológicos para las procedencias Chaco, Salta Norte y Santiago del Estero a los 150 días de crecimiento en vivero

TABLE 2

Mean values \pm standard deviation (DE) of morphological characters from Chaco, Salta Norte and Santiago del Estero provenances at 150 days of growing at nursery

P	H (cm)	DAC (mm)	LR (cm)	VR (cm ³)	VA (cm ³)	PSR (mg)	PSA (mg)	PSt (mg)	PSh (mg)	AF (cm ²)	PFE (mg/cm ²)	AFE (cm ² /mg)
SN	28.55 ^a	3.37 ^{ns}	17.10 ^{ns}	1.45 ^{ns}	2.65 ^{ns}	394.00 ^{ns}	966.00 ^{ns}	576.00 ^{ns}	390.00 ^b	103.66 ^{ns}	3.78 ^b	0.27 ^a
Ch	35.96 ^b	3.05 ^{ns}	16.00 ^{ns}	0.87 ^{ns}	2.60 ^{ns}	354.00 ^{ns}	998.00 ^{ns}	670.00 ^{ns}	328.00 ^{ab}	84.61 ^{ns}	3.94 ^b	0.26 ^a
Sg	25.44 ^a	3.31 ^{ns}	16.40 ^{ns}	1.45 ^{ns}	2.45 ^{ns}	374.00 ^{ns}	724.00 ^{ns}	466.00 ^{ns}	258.00 ^a	77.65 ^{ns}	3.23 ^a	0.32 ^b

P: Procedencia; SN: Rodal Salta; Ch: chaqueño; Sg: santiagueño; H: altura; DAC: diámetro a la altura de cuello; LR: longitud de raíz; VR: volumen de raíz; VA: volumen parte aérea; PSR: peso seco raíz; PSA: peso seco parte aérea; AF: área foliar; PFE: peso foliar específico; AFE: área foliar específica. ns: no significativo; letras diferentes minúsculas (ANAVA) y mayúsculas (MANOVA) indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, $P \leq 0.05$).

P: Provenance; SN: Salta Norte; Ch: chaqueño; Sg: santiagueño. H: height; DAC: neck diameter; LR: root length; VR: root volume; VA: aerial part volume; PSR: root dry wet; PSA: aerial part dry wet; AF: leaf area; PFE: leaf specific weight; AFE: leaf specific area. ns: not significant; different lower case letters (ANAVA) and upper-case letters (MANOVA) indicate significant statistical differences (Duncan, $P \leq 0.05$).

CUADRO 3

Valores medios \pm desvío estándar (DE) de los índices y coeficientes morfológicos calculados para plantines de tres procedencias de *P. alba* crecidos en vivero durante 150 días

TABLE 3

Mean values \pm standard deviation (DE) of morphological indices and coefficients calculated for seedlings of three *P. alba*'s provenances grown at nursery for 150 days

Procedencia	PA/PR	LPA/LPR	CE	IE	ICD
Rodal Salta Norte	2.62 \pm 0.73 ^{ns}	1.68 \pm 0.63 ^a	8.58 \pm 1.80 ^a	0.70 \pm 0.11 ^b	0.13 \pm 0.04 ^{ns}
Rodal chaqueño	2.92 \pm 1.08 ^{ns}	2.29 \pm 0.71 ^b	11.74 \pm 2.85 ^b	0.56 \pm 0.09 ^a	0.09 \pm 0.02 ^{ns}
Rodal santiagueño	2.02 \pm 0.83 ^{ns}	1.58 \pm 0.51 ^a	7.72 \pm 1.86 ^a	0.74 \pm 0.13 ^b	0.12 \pm 0.05 ^{ns}

PA/PR: relación parte aérea/parte radical; LPA/LPR: relación longitud parte aérea/parte radical; CE: coeficiente de esbeltez; IE: índice de esbeltez de Schmidt Vogt; ICD: índice de calidad de Dickson. ns: no significativo; letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, $P \leq 0.05$).

PA/PR: shoot/root relation; LPA/LPR: shoot length/root length proportion; CE: slenderness coefficient; IE: Schmidt Vogt's slenderness index; ICD: Dickson's quality index. ns: not significant; different letters indicate significant statistical differences (Duncan, $P \leq 0.05$).

DISCUSIÓN

Los registros de DAC y altura de las procedencias de *P. alba* estudiadas evidencian que el comportamiento de las variables difiere según la procedencia del material. Varios estudios prueban que las semillas de una misma especie colectadas de distintos ambientes, difieren en viabilidad, germinación, crecimiento (Salazar, 1989; Meskel & Sinclair, 2000; Singh,

Bhatt, & Prasad, 2006; Singh & Bhatt, 2008; Venier, Ferreras, Verga, & Funes, 2015) y, particularmente para estas procedencias fue documentado que se diferencian en caracteres morfométricos de semillas (Fontana et al., 2015) y en su vigor (Fontana, Pérez, & Luna, 2016). La variación en altura y DAC de plántulas entre procedencias ha sido reportada para diversas especies arbóreas (Singh & Bhatt,

2008; O'Brien, Mazanec, & Krauss, 2007) y también se ha observado que la dispersión de los valores de las variables disminuye con el tiempo (Fredrick, Muthuri, Ngamau, & Sinclair, 2015).

El detalle de los coeficientes de variación (Cuadro 1) demuestra que las plantas procedentes del rodal Salta Norte resultan más homogéneas que las de las procedencias Chaco y Santiago del Estero ya que muestran los menores valores para los parámetros analizados, exceptuando el DAC a los 90 y 120 días. En este sentido la uniformidad del material biológico es interesante pues facilita la clasificación de plantas en la etapa de vivero, tarea sumamente importante porque determina homogeneidad en los lotes y mejora la respuesta en campo (Navarro & Del-Campo, 2005).

La altura de los plantines de las tres procedencias al finalizar el ensayo se corresponde con la escala mencionada por Joseau, Conles y Verzio (2013) para *P. alba* (21 a 45 cm). Birchler et al. (1998) mencionan que esta variable por sí sola es poco útil pues únicamente ofrece una somera aproximación del área fotosintetizante y transpirante e ignora la arquitectura del tallo. Thompson (1985) concluye enunciando que la altura inicial de las plantas no se correlaciona, o lo hace de forma negativa, con la supervivencia, aunque sí se correlaciona con el crecimiento en altura tras la plantación. Las plantas más altas pueden enfrentar mejor a la vegetación competidora, aunque esto implica una buena salud fisiológica y un sistema radical adecuado (Quiroz et al., 2009).

Según Sáenz, Villaseñor, Muñoz, Rueda y Prieto (2010), el DAC es el mejor predictor individual del crecimiento, como así también de la supervivencia en campo, ya que es indicador de la capacidad de transporte de agua hacia la parte aérea, de la resistencia mecánica (al doblamiento y a daños por plagas y fauna nociva), y de la capacidad relativa de tolerar altas temperaturas de la planta (Birchler et al., 1998; Prieto-Ruiz et al., 2003; Quiroz et al., 2009). Los valores obtenidos en la investigación están por encima de los registrados por Joseau et al. (2013) para plantines de *P. alba*

producidos en invernadero en envases tubo de 100 µm de polietileno cristal (15 cm largo y 6 cm diámetro) y con supervivencia a campo mayor a 3 años en la localidad de Capilla de Remedios (Córdoba).

La LR es reconocida como un excelente predictor de supervivencia (Chiatante, Di Iorio, Scippa, & Sarnataro, 2002) pues define la habilidad para el anclaje de las plantas a campo (Sáenz et al., 2010). No obstante, al tratarse de una variable condicionada por las dimensiones del contenedor resulta imposible determinar si en el presente el efecto de la procedencia fue no significativo por caracteres propios de cada material o debido a las limitaciones físicas del envase.

En cuanto al volumen de raíces, la procedencia chaqueña resultó ser significativamente inferior a las demás señalando menor capacidad para explorar el suelo. Los mecanismos de respuesta desarrollados por las plantas ante una variación en la disponibilidad de recursos, en este caso de sustrato (volumen del medio de crecimiento), vinculan la posibilidad de modificar los patrones de distribución de biomasa (Camargo & Rodríguez, 2006). En este aspecto, el tamaño del envase y las condiciones del sustrato son los factores principales que influyen el crecimiento de las plantas en vivero y, en particular, en las características y estructura del sistema radical (South, Harris, Bennett, Hains, & Gjerstad, 2005).

Los resultados de biomasa aérea (PSA) fueron inferiores a los señalados por López-Lauenstein, Fernández y Verga (2012) al evaluar plantas de 5 meses de *Prosopis chilensis* y *P. flexuosa* producidos en contenedores de 8 litros de capacidad. Debido a la carencia de datos referidos al PSR y PSA de plantines de *Prosopis* sp. cultivados en condiciones similares, se dificulta la calificación de los valores obtenidos para las tres procedencias de *P. alba* evaluados en este trabajo, que permitan decir *a priori* si las características morfológicas son idóneas para sobrevivir al estrés del trasplante (Martínez, Barroetaveña, & Rajchenberg, 2007).

El género *Prosopis* muestra características foliares que pueden considerarse como adaptaciones a la sequía (Vilela & Palacios, 1997), y debido a la distribución de los nichos específicos de cada especie, estas características foliares varían de acuerdo con los requerimientos ecológicos de cada una (Villagra, Vilela, Giordano, & Álvarez, 2010). Contemplando la procedencia de los materiales resultaría lógico hallar diferencias entre ellas. No obstante, en las condiciones de vivero, la divergencia del AF podría haberse minimizado debido a la inexistencia de situaciones restrictivas de agua que induzcan en las plantas la generación de hojas de menor tamaño para reducir la superficie transpirante y mejorar el intercambio de calor (Gibson, 1998).

El PFE describe la estrategia de las plantas con respecto a la acumulación de nutrientes, área fotosintética y fenología foliar (Westoby, 1998). Si bien se dice que las especies pioneras presentan PFE altos (Poorter, Bongers, & Bongers, 2006), los valores registrados para las tres procedencias de *P. alba* resultan menores respecto a los calculados para tres especies de Fabácea que crecieron en condiciones naturales con alta pluviometría (Norghauer, Glauser, & Newbery, 2014). La carencia de datos de PFE para plantines de *P. alba* conducen a explicar las inconsistencias considerando las condiciones de viverización del ensayo (otoño-invierno, bajo invernáculo) y el hecho de que en condiciones controladas las plantas presentan un PFE menor debido a la menor irradiación diaria de fotones (Garnier & Freijsen, 1994).

El AFE es una medida de la superficie producida para interceptar la radiación solar por unidad de peso seco invertido en la construcción de las hojas y, matemáticamente, la inversa del PFE. Reich, Tjoelker, Walters, Vanderklein y Buschena (1998) mencionan que las especies más tolerantes a la sombra tienen un AFE más baja debido a que sus hojas poseen altas concentraciones de compuestos secundarios, paredes celulares gruesas y contenidos elevados de fibras y lignina. Según lo expuesto podría inferirse que plantines logrados a partir de semillas provenientes de Salta Norte y

Chaco estarían en ventaja en circunstancias de menor radiación, no obstante, debería confirmarse lo supuesto con estudios específicos.

La relación PA/PR determina el balance entre la superficie transpirante y absorbente de la planta y se dice que los valores más adecuados para el mismo son los mayores, siempre y cuando no superen la relación 2.5:1 (Thompson, 1985). Según Oliet (2000), valores inferiores de PA/PR indican una mayor capacidad para superar el momento crítico del arraigo ya que se ve favorecida la absorción de agua frente a las pérdidas, condición favorable para zonas de baja pluviometría.

No obstante, mientras exista disponibilidad hídrica en el suelo, las plantas de relación PA/PR mayor no necesariamente sufrirían mayor estrés pos-trasplante que las plantas con menor relación (Lamhamedi, Bernier, Hébert, & Jobidon, 1998). Además, está documentado el mejor desarrollo de plantas con altos valores de PA/PR o biomasa aérea en reforestaciones, puesto que la mayor altura posibilita a las plantas elevados porcentajes de supervivencia y una respuesta rápida al trasplante, enfrentando mejor el ataque de animales y la competencia de malezas (Villar-Salvador, 2003).

El análisis de los datos obtenidos indicó que la procedencia no tiene un efecto significativo sobre la relación PA/PR por lo que ningún material sería más recomendable que otro frente a condiciones de restricción hídrica.

Las tres procedencias lograron registros de LPA/LPR coincidentes con la escala citada por Joseau et al. (2013) para plantines de *P. alba*. 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.

Es importante adecuar la selección del material a las condiciones del sitio y época: si no existen limitantes ambientales una relación LPA/LPR de 1 favorece altas tasas de supervivencia; en sitios con limitantes de humedad se sugiere utilizar plantines con LPA/LPR de 0.5, mientras que en sitios sin limitantes de

humedad las relaciones pueden ser de 1.5 a 2.5 (Prieto-Ruiz et al., 2003).

Es decir que, considerando los datos obtenidos de las plantas de las procedencias ensayadas, todas serían idóneas en ambientes sin limitantes ambientales pero las plantas producidas con semillas de los rodales Salta Norte y santiagueño tendrían mayores posibilidades de establecimiento en zonas de menor humedad.

El CE indica: si las proporciones del plantín son las adecuadas, la resistencia a la desecación por el viento y su crecimiento potencial en sitios secos (Pérez & Rodríguez, 2016). Existen discrepancias entre los referentes en el tema en cuanto al óptimo de CE ya que Thompson (1985) considera como tales valores superiores a 6, Mitchel, Dunsworth, Simpson y Vyse (1990) menor o igual a 8, en tanto Quiroz et al. (2009) señalan que valores entre 5 y 10 indican una mejor calidad de planta.

En base a los CE calculados y considerando lo establecido por Quiroz et al. (2009), se reconocen dos categorías estadísticamente diferentes: las procedencias Salta Norte y santiagueña dentro del óptimo y, por otro lado, la procedencia chaqueña con un CE mayor fuera del límite admitido. Según Oliet (2000) y Pérez y Rodríguez (2016) las plantas con CE altos muestran supervivencia variable y un pobre crecimiento en ambientes rigurosos.

El IE es una expresión que conceptualmente señala lo mismo que el CE. Su interpretación es inversa: valores altos indican mayor capacidad para tolerar condiciones adversas (Torral, 1997). En este sentido, al no existir valores de referencia para la especie y en base a los resultados obtenidos puede señalarse que las procedencias con un IE mayor (Salta Norte y santiagueña) resultarían más idóneas frente a condiciones hostiles. Al mismo tiempo, los registros actualmente obtenidos resultan inferiores a los logrados para plantines de *P. hassleri* (0.72 a 0.78) (Lupia, 2008) y *P. alba* (0.58 a 0.71) (Díaz, 2009) de tres meses producidos en recipientes de mayor capacidad.

El ICD 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 & Rodríguez, 2016). Según Oliet (2000) lo deseable es que la planta alcance los máximos valores de ICD, lo cual implica que, por una parte, el desarrollo de la planta sea grande y que al mismo tiempo las fracciones aérea y radical estén equilibradas.

Los valores obtenidos en esta experiencia no alcanzan la escala de 0.2 a 0.5 sugerido por Prieto-Ruiz et al. (2003); pero evaluaciones realizadas en plantines comerciales de *P. laevigata* arrojaron ICD de 0.11 (Prieto-Ruiz, Rosales-Mata, Sigala-Rodríguez, Madrid-Aispuro, & Mejía-Bojorques, 2013), plantas de *P. juliflora* de 4 meses de viverización dieron 0.3 (Rueda-Sánchez et al., 2012) mientras que en *P. hassleri* de 90 días se lograron valores de 0.06 a 0.12 en condiciones experimentales y de 0.05 en producción comercial en vivero (Lupia, 2008).

Así como en estudios anteriores (L. Fontana, en prep.), se mostró que la procedencia “Salta Norte” correspondía a un grupo distinto al considerar los parámetros morfométricos de sus semillas; es probable que del mismo modo los caracteres morfológicos de los plantines se vean afectados. La variación entre las procedencias puede atribuirse a diferencias genéticas causadas por la adaptación a diversas condiciones ambientales.

En este sentido, los datos climáticos de las áreas de origen muestran diferencias notorias en cuanto a las precipitaciones medias a favor de la procedencia Salta Norte, que sobresale y registra más de 1000 mm anuales. Fredrick et al. (2015) indica la existencia de correlaciones significativas entre variables morfológicas y algunos factores geo-climáticos que sustentarían el hecho de que los factores ambientales también tienen efecto sobre el crecimiento de las plántulas y su morfología.

El efecto de la procedencia resultó significativo para la mayoría de las variables medidas: altura de las plantas y DAC (al menos durante los primeros 3 meses de viverización), VR (volumen de raíz), PFE (peso foliar específico) y AFE (área foliar específica).

Así mismo algunos de los índices y cocientes morfológicos considerados como variables para determinar la calidad de plantas resultan afectados por el origen geográfico del material: LPA/LPR (relación longitud parte aérea/parte radical), CE (coeficiente de esbeltez) e IE (índice de esbeltez).

Los resultados permiten afirmar que en *P. alba* la procedencia influye sobre la morfología de las plantas y determina la existencia de dos grupos diferentes: por un lado, las procedencias santiagueña y chaqueña y, por otro, la procedencia Salta Norte.

Finalmente cabe destacar que, si bien el objetivo del estudio fue establecer el efecto de la procedencia sobre las variables morfológicas, las mediciones realizadas permiten afirmar que las tres procedencias cumplen con los requisitos establecidos por DPF-INTA (2014) referido a las características de un plantín competente: edad comprendida entre los 3 a 6 meses, 25 a 35 cm de alto y un DAC mínimo de 3 mm (óptimo de 4 mm). No obstante, se hace evidente la necesidad de estudiar y establecer valores para los parámetros de calidad morfológica de especies nativas como *P. alba* pues esta información es de utilidad para proyectos de forestación y/o repoblación y, en la actualidad, se carece completamente de ella.

AGRADECIMIENTOS

Al PNFOR 1104063 “Mejoramiento genético de especies forestales de alto valor” módulo “Parque Chaqueño” del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y al CIAC 940173 “Evaluación de especies nativas forestales implantadas” (INTA- AUDEAS-CONADEV).

RESUMEN

El origen geográfico de la semilla ejerce un control genético sobre los caracteres de comportamiento de las plantas por lo cual su selección es una herramienta útil para lograr la máxima adaptación de la especie al medio. En este sentido, la caracterización de materiales de diferentes procedencias brinda información para la elección de las fuentes de semilla utilizables en programas de mejora, así como en proyectos de forestación y/o repoblación. El presente

trabajo tuvo como objetivo establecer el efecto de la procedencia sobre las variables morfológicas que constituyen parámetros de calidad en plantines de *Prosopis alba* provenientes de tres áreas geográficas. Se midieron variables morfológicas de las plantas hasta los 150 días posteriores a la siembra. El efecto de la procedencia resultó significativo para la mayoría de las variables medidas: altura de las plantas y diámetro a la altura del cuello (al menos durante los primeros 3 meses de viverización), volumen de raíz, peso foliar específico y área foliar específica. Así mismo algunos de los índices y cocientes morfológicos considerados como variables para determinar la calidad de plantas resultan afectados por el origen geográfico del material: relación longitud parte aérea/parte radical, coeficiente de esbeltez e índice de esbeltez. Los resultados permiten afirmar que en *P. alba* la procedencia influye sobre la morfología de las plantas y determina la existencia de dos grupos diferentes: por un lado, las procedencias santiagueña y chaqueña y, por otro, la procedencia Salta Norte.

Palabras clave: Algarrobo blanco; producción de plantas; origen; vivero; clasificación morfométrica.

REFERENCIAS

- Birchler, T., Rose, R., Royo, A., & Pardos, M. (1998). La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Investigación Agraria*, 7(1-2), 109-121.
- Böhm, W. (1979). *Ecological studies: Methods of studying root systems* (Vol. 33). Berlin: Springer.
- Camargo, I. & Rodríguez, N. (2006). Nuevas perspectivas para el estudio de la asignación de biomasa y su relación con el funcionamiento de plantas en ecosistemas neotropicales. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 75-87.
- Chavasse, C. (1980). Planting stock quality: a review of factors affecting performance. *New Zealand Journal of Forestry*, 25, 144-171.
- Chiatante, D., Di Iorio, A., Scippa, G., & Sarnataro, M. (2002). Improving vigour assessment of pine (*Pinus nigra* Arnold). *Plant Biosystems*, 136, 209-216.
- Demaio, P., Karlin, U., & Medina, M. (2015). *Árboles nativos de Argentina* (Vol. 1). Córdoba, Argentina: Ecoval Ediciones.
- Díaz, V. (2009). *Comportamiento en vivero de Prosopis alba Griseb. según sustratos, tipos de envases y dosis de fertilizante*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Formosa, Argentina.
- Dickson, A., Leaf, A., & Hosnurm, J. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36, 10-13.

- Di-Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2011). InfoStat Software Estadístico.
- DPF-INTA (Dirección De Producción Forestal; Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria). (2014). *Avances en la silvicultura del algarrobo blanco*. Buenos Aires: MAGyP - UNAF - INTA.
- Fontana, M., Pérez, V., & Luna, C. (2015). Influencia de la procedencia geográfica sobre los parámetros morfométricos de *Prosopis alba*. *Multequina*, 24, 33-45.
- Fontana, M., Pérez, V., & Luna, C. (2016). Pruebas de envejecimiento acelerado para determinar vigor de semillas de *Prosopis alba* de tres procedencias geográficas. *Revista FAVE - Sección Ciencias Agrarias*, 15(1), 37-50.
- Fredrick, C., Muthuri, C., Ngamau, K., & Sinclair, F. (2015). Provenance variation in seed morphological characteristics, germination and early seedling growth of *Faidherbia albida*. *Journal of Horticulture and Forestry*, 7(5), 127-140.
- Garnier, E., & Freijssen, A. (1994). On ecological inference from laboratory experiments conducted under optimum conditions. En J. Roy, & E. Garnier (Eds.), *A whole plant perspective on carbon-nitrogen Interactions* (pp. 267-292). Amsterdam: SPB Academic Publishing.
- Gibson, A. (1998). Photosynthesis organs of desert plants. *Bioscience*, 48(11), 911-920.
- Harrington, J., Mexal, J., & Fisher, J. (1994). Volume displacement method provides a quick and accurate way to quantify new root production. *Tree Planters' Notes*, 45, 121-124.
- 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.
- Joseau, J., Conles, M., & Verzio, G. (2013). *Conservación de recursos forestales nativos de Argentina. El cultivo de plantas leñosas en vivero y a campo*. Córdoba: Editorial Brujas.
- Lamhamedi, M., Bernier, P., Hébert, C., & Jobidon, R. (1998). Physiological and growth responses of three sizes of containerized *Picea mariana* seedlings out-planted with and without vegetation control. *Forest Ecology and Management*, 110, 13-23.
- López-Lauenstein, D., Fernández, M., & Verga, A. (2012). Respuesta diferenciada a la sequía de plantas jóvenes de *Prosopis chilensis*, *P. flexuosa* y sus híbridos interespecíficos: implicancias para la reforestación en zonas áridas. *Ecología Austral*, 22(1), 43-52.
- Luna, C. (2010). *Automatización de la micropropagación de Ilex paraguariensis e Ilex dumosa: Estudio del intercambio gaseoso, estado hídrico y fotosíntesis durante las etapas de aclimatación y post-aclimatación*. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.
- Lupia, N. (2008). Efectos del tamaño de semilla, envase y tipo de sustrato en el desarrollo de plantines de *Prosopis hassleri* Harms. 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.
- Meskel, E., & Sinclair, F. (2000). Growth variability in Senegalese provenance of *Acacia nilotica* spp. tomentosa. *Agroforestry Systems*, 48, 207-213.
- Mexal, J., & Landis, T. (1990). Target seedling concepts: height and diameter. En R. Rose (Ed.), *Target seedling symposium: Proceedings, combined meeting of the western forest nursery associations* (pp. 17-34). Roseburg: USDA Forest Service.
- Mitchel, W., Dunsworth, G., Simpson, D., & Vyse, A. (1990). Planting and Seeding. En R. Lavender, C. Parish, G. Johnson, A. Montgomery, A. Vyse, R. Willis, & D. Winston (Eds.), *Regenerating British Columbia's Forests* (pp. 235-253). Vancouver: University of British Columbia Press.
- Navarro, R., & Del-Campo, A. (2005). Evaluación de la calidad de lotes comerciales de encina (*Quercus ilex* L. subs. *ballota* (Desf.) Samp.) y acebuche (*Olea europaea* L. var. *sylvestris* Brot.): tres años de ensayos. *Actas del IV Congreso Forestal Español. Mesa 2 N° 54*. Zaragoza.
- Navarro, R., & Palacios, G. (2004). Efecto de la calidad de planta, el procedimiento de preparación y la fecha de plantación en la supervivencia de una repoblación de *Pinus pinea* L. *Cuadernos de la SECF*, 17, 199-204.
- Norghauer, J., Glauser, G., & Newbery, D. (2014). Seedling resistance, tolerance and escape from herbivores: insights from co-dominant canopy tree species in a resource-poor African rain forest. *Functional Ecology*, 28(6), 1426-1439.
- O'Brien, E., Mazanec, R., & Krauss, S. (2007). Provenance variation of ecologically important traits of forest trees: implications for restoration. *Journal of Applied Ecology*, 44, 583-593.
- Oliet, J. (2000). *La calidad de la postura forestal en vivero*. Córdoba, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Córdoba.
- Oliveira, A. (1988). The H/D ratio in maritime pine (*Pinus pinaster*) stands. En A. Ek, S. Shifley, & T. Burk (Eds.), *Proceedings of the IUFRO Conference Forest*

- Growth modelling and prediction* (pp. 881-888). Minneapolis: IUFRO.
- Pérez, V., & Rodríguez, H. (2016). Producción de plántulas de calidad de *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlttdl. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Poorter, L., Bongers, L., & Bongers, F. (2006). Architecture of 54 Moist-Forest tree species: Traits, trade-off, and functional groups. *Ecology*, 87(5), 1289-1301.
- Poorter, H., & De-Jong, R. (1999). A comparison of specific leaf area, chemical composition and leaf construction costs of field plants from 15 habitats differing in productivity. *New Phytologist*, 143, 163-176.
- 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* (Folleto Técnico No. 12). Primera reimpression. Durango, México: AGARPA - INIFAP - Campo Experimental Valle del Guadiana.
- Puttonen, P. (1997). Looking for the "silver bullet"-can one test do it all? *New Forests*, 13, 9-27.
- Quino-Pascual, K. (2013). *Germinación de semillas y crecimiento inicial de plántulas de Enterolobium cyclocarpum (Jacq.) Griseb. procedentes de la costa de Oaxaca*. (Tesis de Grado). Universidad Veracruzana, México.
- Quiroz, I., García, E., González, M., Chung, P., & Soto, H. (2009). *Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta*. Chile: Infor -Centro Tecnológico de la planta forestal.
- Reich, P., Tjoelker, M., Walters, M., Vanderklein, D., & Buschena, C. (1998). Close association of RGR, leaf and root morphology, seed mass and shade tolerance in seedlings of nine boreal tree species grown in high and low light. *Functional Ecology*, 12, 327-338.
- Richards, L. (1980). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos: manual N° 60*. México: Editorial Limusa.
- 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* (Folleto Técnico No. 17). México: SAGARPA - INIFAP - CIRPAC.
- Salazar, R. (1989). Genetic variation of 16 provenances of *Acacia mangium* at nursery level in Turrialba Costa Rica. *The Commonwealth Forestry Review*, 68, 263-272.
- Salto, C., García, M., & Harrand, L. (2013). Influencia de diferentes sustratos y contenedores sobre variables morfológicas de plántulas de dos especies de *Prosopis*. *Quebracho*, 21(1,2), 90-102.
- Schmidt-Vogt, H. (1980). Characterization of plant material. *IUFRO Meeting, SI.05-04*, Berlin, Alemania.
- Singh, B., & Bhatt, B. (2008). Provenance variation in pod, seed and seedling traits of *Dalbergia sissoo* Roxb., Central Himalaya, India. *Tropical Agricultural Research & Extension*, 11, 39-44.
- Singh, B., Bhatt, B., & Prasad, P. (2006). Ariation in seed and seedling traits of *Celtis australis*, a multipurpose tree, in Central Himalaya India. *Agroforestry Systems*, 67, 115-122.
- South, D. (2000). Planting morphologically improved pine seedlings to increase survival and growth. *Forestry and Wildlife Research Series N° 1*. Alabama.
- South, B., Harris, S., Bernett, J., Hainds, M., & Gjerstad, D. (2005). Effect of container type and seedlings size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, USA. *Forest Ecology and Management*, 204, 385-398.
- Thompson, B. (1985). Seedling morphological evaluation. What you can tell by looking. En M. Duryea (Ed.), *Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests* (pp. 59-71). Corvallis (Oregon): Oregon State University.
- 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). México: Consejo Agropecuario de Jalisco.
- Venier, P., Ferreras, A., Verga, A., & Funes, G. (2015). Germination traits of *Prosopis alba* from different provenances. *Seed Science and Technology*, 43(3), 548-553.
- Vilela, A., & Palacios, R. (1997). Adaptative features in leaves of South American species of the genus *Prosopis* (Leguminosae; Mimosoideae). *Bulletin of the International Group for Study of Mimosoideae*, 20, 62-70.

- Villagra, P. (2000). Aspectos ecológicos de los algarrobales argentinos. *Multequina*, 9(2), 35-51.
- Villagra, P., Vilela, A., Giordano, C., & Álvarez, J. (2010). Ecophysiology of *Prosopis* species from the arid lands of Argentina: What do we know about adaptation to stressful environments? *Desert Plants*, 3, 321-340.
- Villar-Salvador, P. (2003). Importancia de la calidad de la planta en los proyectos de revegetación. En J. Rey-Benayas, T. Espigares-Pinilla, & J. Nicolau-Ibarra (Eds.), *Restauración de Ecosistemas en Ambientes Mediterráneos* (pp. 65-86). España: Universidad de Alcalá/Asociación Española de Ecología Terrestre.
- Villegas-Jiménez, D., Rodríguez-Ortiz, G., Chávez-Servia, J., Enríquez-Del-Valle, R., & Carrillo-Rodríguez, J. (2016). Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de *Pinus pseudostrabus* Lindl. *Gayana Botánica*, 73(1), 113-123.
- Westoby, M. (1998). Leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and Soil*, 199, 213-227.