

Growth of mesquite in the nursery under different substrate, irrigation and moisture retainer conditions

Crecimiento de mezquite en vivero bajo diferentes condiciones de sustrato, riego y retenedores de humedad

Natalia Cervantes-Rodríguez¹; José A. Prieto-Ruíz²; Sergio Rosales-Mata³; Jaime A. Félix-Herrán¹

¹Universidad Autónoma Indígena de México (UAIM), Campus Mochichahui. Benito Juárez 39, Mochichahui. C. P. 81890. El Fuerte, Sinaloa, México.

²Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales. Río Papaloapan y bulevar Durango s/n, col. Valle del Sur. C. P. 34120. Durango, Durango, México.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana. km 5 Carretera Durango-El Mezquital. C. P. 34000. Durango, Dgo., México.

*Corresponding author: jprieto@ujed.mx, tel.: +52 (618) 130 1148.

Abstract

Introduction: In northern Mexico, mesquite is widely used in reforestation. The production of quality plant is necessary for its establishment in the field.

Objective: To evaluate the effect of different moisture retainer doses, substrate mixtures and irrigation frequencies on growth of *Prosopis laevigata*.

Materials and methods: The effect of five moisture retainer doses (0.0, 1.5, 3.0, 4.5 and 6.0 g·L⁻¹), two irrigation frequencies (every 48 and 96 h) and two substrate mixtures (base mixture [55 % peat moss + 24 % vermiculite + 21 % agrolite] and composted bark [50 %] + peat moss [50 %]). Mesquite plants were evaluated at three months of age in a randomized block experimental design with a factorial arrangement.

Results and discussion: The factors, both individual and in interaction, caused significant differences ($P < 0.05$) in plant height, diameter and biomass. The best results were obtained using the base mixture, irrigation every 48 h and moisture retainers at doses of 1.5, 4.5 or 6.0 g·L⁻¹. Substrate was the most influential factor.

Conclusion: Growth of *P. laevigata* is favored through the most beneficial combination of substrate type, irrigation frequency and moisture retainer dose.

Resumen

Introducción: En el norte de México, el mezquite es utilizado ampliamente en las reforestaciones. La producción de planta de calidad es necesaria para su establecimiento en campo.

Objetivo: Evaluar el efecto de distintas dosis de retenedores de humedad, mezclas de sustrato y frecuencias de riego sobre el crecimiento de *Prosopis laevigata*.

Materiales y métodos: Se evaluó el efecto de cinco dosis de retenedores de humedad (0.0, 1.5, 3.0, 4.5 y 6.0 g·L⁻¹), dos frecuencias de riego (cada 48 y 96 h) y dos mezclas de sustratos (mezcla base [peat moss 55 % + vermiculita 24 % + agrolita 21 %]) y corteza composteada [50 %] + peat moss [50 %]). Las plantas de mezquite se evaluaron a los tres meses de edad en un diseño experimental en bloques al azar con arreglo factorial.

Resultados y discusión: Los factores, tanto individuales como en interacción, ocasionaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la altura, diámetro y biomasa de la planta. Los mejores resultados se obtuvieron utilizando mezcla base, riego cada 48 h y retenedores de humedad en dosis de 1.5, 4.5 o 6.0 g·L⁻¹. El sustrato fue el factor más influyente.

Conclusión: El crecimiento de *P. laevigata* se favorece al combinar el tipo de sustrato, la frecuencia de riego y la dosis de retenedor de humedad adecuadamente.

Keywords: Hydrogel, growth substrates, composted bark, irrigation frequency, *Prosopis laevigata*.

Palabras clave: Hidrogel, sustratos de crecimiento, corteza composteada, frecuencia de riego, *Prosopis laevigata*.

Introduction

Mesquite (*Prosopis* spp.) is an important forest resource for residents in northern Mexico's arid and semi-arid regions. In these areas, mesquite is used to obtain firewood, wood, charcoal and pods that, because of their high fiber content, are destined for the feeding of domestic animals and wildlife (López et al., 2010; Ríos, Martínez, & Mojica, 2013; Rodríguez et al., 2014). Due to its low moisture content and great stability, the wood is used in construction, furniture making and handicrafts (Ríos et al., 2013).

The genus *Prosopis* has great economic and ecological potential; it grows naturally in northern Mexico's arid and semi-arid areas, where precipitation is less than 400 mm per year (Ríos et al., 2013). In 2002, native stands of this genus occupied 262 193 ha, distributed in the states of Chihuahua (124 670 ha), Coahuila (73 868 ha), Durango (44 211 ha) and Zacatecas (19 444 ha) (Trucios, Ríos, Estrada, Valenzuela, & Jacinto, 2011). In recent years, nursery mesquite production for the restoration of altered ecosystems has increased considerably (Prieto, Rosales, Madrid, Mejía, & Sigala, 2013). However, there is little experience in terms of cultivation; some factors such as small plants, damage by hares, shallow soil, drought and a lack of practices that promote water harvesting have influenced the low survival of the plantations (Ríos-Saucedo, Rivera-González, Valenzuela-Núñez, Trucíos-Caciano, & Rosales-Serna, 2012).

For the above reasons, it is necessary to search for alternatives that enable the plants to acquire the appropriate morphological characteristics in the nursery for their proper rooting in the planting sites (Prieto et al., 2013). The use of complementary inputs to plant production, such as water-holding polymers, is an alternative to make their water uptake more efficient (Palacios-Romero et al., 2017). These have been used for more than 40 years in other productive areas such as agriculture (Landis & Haase, 2012), floriculture and fruit growing, but in Mexico there has been little exploration in the forestry field (Sandoval-Méndez, Cetina-Alcalá, Yeaton, & Mohedano-Caballero, 2000) and even less in the genus *Prosopis*.

Hydrogel or "solid rain" is a hydrophilic polymer, capable of absorbing water more than 100 times its weight (López-Elías, Garza, Jiménez, Huez, & Garrido, 2016); in addition, it can reduce evapotranspiration and mitigate drought stress (Cheruiyot et al., 2014). Another complementary option in the nursery is the evaluation of alternative substrates to the base mixture (55 % peat moss + 24 % vermiculite + 21 % agrolite), such as composted bark mixed with peat moss (Prieto et al., 2013). It is also necessary to test irrigation frequencies to determine how they influence the moisture

Introducción

El mezquite (*Prosopis* spp.) es un recurso forestal importante para los pobladores de las regiones áridas y semiáridas del norte de México. En dichas áreas, el mezquite se aprovecha para la obtención de leña, madera, carbón y vainas que, por su alto contenido de fibra, son destinadas para la alimentación de animales domésticos y fauna silvestre (López et al., 2010; Ríos, Martínez, & Mojica, 2013; Rodríguez et al., 2014). Debido al bajo contenido de humedad y gran estabilidad, la madera se emplea en la construcción, elaboración de muebles y artesanías (Ríos et al., 2013).

El género *Prosopis* tiene gran potencial económico y ecológico; crece en forma natural en zonas áridas y semiáridas del norte de México, donde la precipitación es menor de 400 mm anuales (Ríos et al., 2013). En el año 2002, los rodales nativos de este género ocupaban 262 193 ha, distribuidas en los estados de Chihuahua (124 670 ha), Coahuila (73 868 ha), Durango (44 211 ha) y Zacatecas (19 444 ha) (Trucios, Ríos, Estrada, Valenzuela, & Jacinto, 2011). En los últimos años, la producción de planta de mezquite en vivero, con fines de restauración de ecosistemas alterados, ha incrementado considerablemente (Prieto, Rosales, Madrid, Mejía, & Sigala, 2013). No obstante, la experiencia sobre las labores de cultivo es escasa; algunos factores como planta pequeña, daños por liebres, suelos poco profundos, sequía y la falta de prácticas que promuevan la captación de agua han influido en la baja supervivencia de las plantaciones (Ríos-Saucedo, Rivera-González, Valenzuela-Núñez, Trucíos-Caciano, & Rosales-Serna, 2012).

Por lo anterior, es necesario encontrar alternativas que permitan que las plantas adquieran las características morfológicas adecuadas en el vivero para su arraigo apropiado en los sitios de plantación (Prieto et al., 2013). El uso de insumos complementarios a la producción de planta, como los polímeros retenedores de agua, son una alternativa para hacer más eficiente su consumo (Palacios-Romero et al., 2017). Estos se han utilizado desde hace más de 40 años en otras áreas productivas como la agricultura (Landis & Haase, 2012), la floricultura y fruticultura, pero en México se ha explorado poco en el ámbito forestal (Sandoval-Méndez, Cetina-Alcalá, Yeaton, & Mohedano-Caballero, 2000) y aún menos en el género *Prosopis*.

El hidrogel o "lluvia sólida" es un polímero hidrófilo, capaz de absorber agua más de 100 veces su peso (López-Elías, Garza, Jiménez, Huez, & Garrido, 2016); además, puede disminuir la evapotranspiración y mitigar el estrés por sequía (Cheruiyot et al., 2014). Otra opción complementaria en el vivero es la evaluación de sustratos alternativos a la mezcla base (55 % *peat moss* + 24 % vermiculita + 21 % agrolita), como la corteza

retention of substrates with different characteristics. In this context, the objective of the present study was to evaluate the effect of five moisture retainer doses, two substrate mixtures and two irrigation frequencies on the morphological growth of *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst. in the nursery.

Materials and methods

Study area location

The work was carried out in the forest nursery of the Valle del Guadiana Experimental Field of the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias* (INIFAP for its initials in Spanish), located at km 4.5 of the Durango-Mezquital highway in Durango, Mexico, at coordinates 23° 59' 23.6" NL and 104° 37' 30.1" WL, at an elevation of 1 860 m.

The plant was produced in a greenhouse covered with 720-gauge, UV-blocking plastic and with a 50 % shade mesh. The average light intensity was 168 klx. The temperature ranged from 10.5 to 40.2 °C, while the relative humidity fluctuated between 17.1 and 94.3 %. The seed was harvested in San Isidro, municipality of Nombre de Dios, Durango, located at coordinates 23° 57' 14.32" NL and 104° 17' 07.25" WL.

Experimental design

Twenty treatments derived from the combination of the following factors were evaluated: a) two substrates: base mixture (peat moss [55 %] + vermiculite [24 %] + agrolite [21 %]) and composted bark (50 %) + peat moss (50 %); b) two irrigation frequencies (48 and 96 h) applied during the last 61 days of the 91-day trial; and c) five moisture retainer doses (0.0, 1.5, 3.0, 4.5 and 6.0 g·L⁻¹). The treatments were distributed under a randomized block experimental design with a 5 x 2 x 2 factorial arrangement. Each experimental unit consisted of a tray with 77 plants. Four replicates were evaluated per treatment.

Plant production process

As a pregerminative treatment, the seed was soaked in water at 90 °C for 75 s and disinfected in a solution composed of 90 % water and 10 % commercial chlorine for 10 min; subsequently, to avoid damage due to damping off during germination, it was impregnated with the fungicide Daconil®. Two mixtures were used as substrate, to which the controlled release fertilizer Osmocote® (17-7-12 N-P-K) was added at a dose of 5 kg·m⁻³ of mixture. During the preparation of the substrates the polymer was added according to the treatments defined in Table 1. The seeds were deposited in polystyrene trays with 77 cavities with a capacity of 170 mL per cavity.

compostada mezclada con *peat moss* (Prieto et al., 2013). También se requiere ensayar las frecuencias de riego para determinar cómo influyen en la retención de humedad de sustratos con características diferentes. En tal contexto, el objetivo del presente ensayo fue evaluar el efecto de cinco dosis de retenedores de humedad, dos mezclas de sustratos y dos frecuencias de riego sobre el crecimiento morfológico de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst. en vivero.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

El trabajo se realizó en el vivero forestal del Campo Experimental Valle del Guadiana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el km 4.5 de la carretera Durango-Mezquital en Durango, México, en las coordenadas 23° 59' 23.6" LN y 104° 37' 30.1" LO, a una altitud de 1 860 m.

La planta se produjo en un invernadero cubierto con plástico calibre 720 tratado contra rayos ultravioleta y con una malla sombra al 50 %. La intensidad de luz promedio fue 168 klx. La temperatura varió de 10.5 a 40.2 °C, mientras que la humedad relativa fluctuó entre 17.1 y 94.3 %. La semilla se recolectó en el predio particular San Isidro, municipio de Nombre de Dios, Durango, ubicado en las coordenadas 23° 57' 14.32" LN y 104° 17' 07.25" LO.

Diseño experimental

Se evaluaron 20 tratamientos derivados de la combinación de los factores siguientes: a) dos sustratos: mezcla base (*peat moss* [55 %] + vermiculita [24 %] + agrolita [21 %]) y corteza composteada (50 %) + *peat moss* (50 %); b) dos frecuencias de riego (48 y 96 h) aplicado durante los últimos 61 días de los 91 días que duró el ensayo; y c) cinco dosis de retenedores de humedad (0.0, 1.5, 3.0, 4.5 y 6.0 g·L⁻¹). Los tratamientos se distribuyeron bajo un diseño experimental de bloques al azar con un arreglo factorial 5 x 2 x 2. Cada unidad experimental estuvo compuesta por una charola de 77 plantas. Se evaluaron cuatro repeticiones por tratamiento.

Proceso de producción de la planta

Como tratamiento pregerminativo, la semilla se remojó en agua a 90 °C durante 75 s y se desinfectó con una solución compuesta por 90 % de agua y 10 % de cloro comercial por 10 min; posteriormente, para evitar daños por *damping off* durante la germinación, se impregnó con el fungicida Daconil®. Como sustrato se emplearon dos mezclas a las que se les agregó el fertilizante de liberación controlada Osmocote® (17-7-12 de N-P-K) en una dosis de 5 kg·m⁻³ de mezcla.

Table 1. Treatments to evaluate the morphological growth of *Prosopis laevigata* under five moisture retainer doses, two substrate mixtures and two irrigation frequencies.

Cuadro 1. Tratamientos definidos para evaluar el crecimiento morfológico de *Prosopis laevigata* bajo cinco dosis de retenedores de humedad, dos mezclas de sustratos y dos frecuencias de riego.

Treatment/ Tratamiento	Substrate/Sustrato	Moisture retainer (g·L ⁻¹ substrate)/ Retenedor de humedad (g·L ⁻¹ sustrato)	Irrigation frequency (h)/ Frecuencia de riego (h)
1	Base mixture/Mezcla base	0.0	48
2	Base mixture/Mezcla base	1.5	48
3	Base mixture/Mezcla base	3.0	48
4	Base mixture/Mezcla base	4.5	48
5	Base mixture/Mezcla base	6.0	48
6	50 % CB+ 50 % PM/50 % CC+ 50 % PM	0.0	48
7	50 % CB+ 50 % PM/50 % CC+ 50 % PM	1.5	48
8	50 % CB+ 50 % PM/50 % CC+ 50 % PM	3.0	48
9	50 % CB+ 50 % PM/50 % CC+ 50 % PM	4.5	48
10	50 % CB+ 50 % PM/50 % CC+ 50 % PM	6.0	48
11	Base mixture/Mezcla base	0.0	96
12	Base mixture/Mezcla base	1.5	96
13	Base mixture/Mezcla base	3.0	96
14	Base mixture/Mezcla base	4.5	96
15	Base mixture/Mezcla base	6.0	96
16	50 % CB+ 50 % PM/50 % CC+ 50 % PM	0.0	96
17	50 % CB+ 50 % PM/50 % CC+ 50 % PM	1.5	96
18	50 % CB+ 50 % PM/50 % CC+ 50 % PM	3.0	96
19	50 % CB+ 50 % PM/50 % CC+ 50 % PM	4.5	96
20	50 % CB+ 50 % PM/50 % CC+ 50 % PM	6.0	96

Base mixture = peat moss (55 %) + vermiculite (24 %) + agrolite (21 %); CB = composted bark; PM = peat moss.

Mezcla base = *peat moss* (55 %) + vermiculita (24 %) + agrolita (21 %); CC = corteza composteada; PM = *peat moss*.

One month after plant emergence, nutrition was supplemented with the water-soluble fertilizer Master Growing Forestal® (20-7-19 N-P-K) at a dose of 0.5 g·L⁻¹ of water at the development stage. In the preconditioning phase, Master Growing Forestal® (4-25-35 of N-P-K) was applied at a dose of 1.5 g·L⁻¹. Each type of fertilizer was applied over a 30-day period with a frequency of 96 h.

Variables evaluated

The porosity and moisture behavior, due to the substrates and moisture retainer doses, were determined in four samples per substrate type with the methodology proposed by Landis, Tinus, McDonald, and Barnett (1990), based on the following formulas:

Durante la preparación de los sustratos se agregó el polímero conforme a los tratamientos definidos en el Cuadro 1. Las semillas se depositaron en charolas de poliestireno con 77 cavidades con capacidad de 170 mL por cavidad.

Un mes después de la emergencia de la planta, la nutrición se complementó con el fertilizante hidrosoluble Master Growing Forestal® (20-7-19 de N-P-K) en dosis de 0.5 g·L⁻¹ de agua en la etapa de desarrollo. En la fase de preacondicionamiento se aplicó el material finalizador Master Growing Forestal® (4-25-35 de N-P-K) en dosis de 1.5 g·L⁻¹. Cada tipo de fertilizante se aplicó durante 30 días con una frecuencia de 96 h.

$$\text{Total porosity (\%)} = \frac{\text{Substrate pore volume}}{\text{Container volume}} \quad (100)$$

$$\text{Aeration porosity (\%)} = \frac{\text{Aeration pore volume}}{\text{Container volume}} \quad (100)$$

$$\text{Water - holding capacity (\%)} = \frac{\text{Total porosity} - \text{Aeration porosity}}{\text{Total porosity}}$$

The moisture content was determined for each substrate mixture and moisture retainer dose. For this, initially the dry weight of the substrate was obtained in the containers and then the weight of the substrate with moisture at two times: immediately after irrigation and 48 h later. This process was repeated four times.

At three months of age, five plants per experimental unit were randomly extracted. In total, 400 plants (20 treatments*four blocks*five plants per treatment) were evaluated, from which the substrate was removed and the following variables recorded: height determined with a 30-cm graduated ruler, neck diameter measured with a digital Vernier caliper with 0.001 mm precision and shoot, root and total dry biomass (g), obtained by drying the components in a stove at 72 °C until constant weight.

Data were subjected to an analysis of variance by means of SAS software version 9.2 (Statistical Analysis System [SAS Institute], 2002), using the PROC GLM procedure. When significant differences were found among treatments ($P < 0.05$), means comparison tests were performed using Tukey's range test.

Results and discussion

Effect of substrate on growth of *P. laevigata*

The substrate factor caused statistically significant differences ($P < 0.05$) in plant growth in the variables height, diameter and shoot and total biomass (Table 2), which were 23.9, 19.4, 31.5 and 27.7 % higher, respectively, with the base mixture compared to the substrate composed of 50 % CB + 50 % PM.

The base mixture led to better plant performance. This agrees with the results obtained by Prieto et al. (2013) in *P. laevigata* plants produced in five substrate mixtures based on composted bark (50 to 80 %) combined with base mixture (20 to 50 %), considering a control (base mixture similar to that of this trial).

Figure 1 shows the porosity of the substrates evaluated. Landis et al. (1990) recommend certain ranges of total porosity (60 to 80 %), water-holding capacity (25 to 55 %) and aeration porosity (25 to 35 %). In the present work,

Variables evaluadas

La porosidad y el comportamiento de la humedad, debido a los sustratos y a las dosis de retenedores de humedad, se determinaron en cuatro muestras por tipo de sustrato con la metodología propuesta por Landis, Tinus, McDonald, y Barnett (1990), con base en las siguientes fórmulas:

$$\text{Porosidad total (\%)} = \frac{\text{Volumen poroso del sustrato}}{\text{Volumen del envase}} \quad (100)$$

$$\text{Porosidad de aireación (\%)} = \frac{\text{Volumen de poros de aire}}{\text{Volumen del envase}} \quad (100)$$

$$\text{Capacidad de retención de agua (\%)} = \frac{\text{Porosidad total} - \text{Porosidad de aireación}}{\text{Porosidad total}}$$

El contenido de humedad se determinó para cada mezcla de sustrato y dosis de retenedor de humedad. Para ello, inicialmente se obtuvo el peso seco del sustrato en los contenedores y luego el peso del sustrato con humedad en dos momentos: posterior al riego y 48 h después. Este proceso se repitió cuatro veces.

A los tres meses de edad, cinco plantas por unidad experimental se extrajeron en forma aleatoria. En total se evaluaron 400 plantas (20 tratamientos*cuatro bloques*cinco plantas por tratamiento), de las cuales se eliminó el sustrato y se registraron las siguientes variables: altura determinada con una regla graduada de 30 cm, diámetro del cuello medido con un vernier digital con 0.001 mm de precisión y biomasa seca de la parte aérea, raíz y total (g), obtenida mediante secado de los componentes en una estufa a 72 °C hasta que alcanzaron peso constante.

Los datos se sometieron a un análisis de varianza, a través del paquete SAS versión 9.2 (Statistical Analysis System [SAS Institute], 2002), utilizando el procedimiento PROC GLM. Cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$) se realizaron pruebas de comparación de medias utilizando la prueba de rangos múltiples de Tukey.

Resultados y discusión

Efecto del sustrato sobre el crecimiento de *P. laevigata*

El factor sustrato causó diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) en el crecimiento de las plantas en las variables altura, diámetro y producción de biomasa de la parte aérea y total (Cuadro 2), las cuales fueron superiores en 23.9, 19.4, 31.5 y 27.7 %, respectivamente, con la mezcla base en comparación con el sustrato compuesto por 50 % CC + 50 % PM.

Table 2. Growth variables of *Prosopis laevigata*, at three months of age, under different substrate, irrigation and moisture retainer conditions.**Cuadro 2. Variables de crecimiento de *Prosopis laevigata*, a los tres meses de edad, bajo distintas condiciones de sustrato, riego y retenedor de humedad.**

Factor/Treatment Factor/Tratamiento	Height (cm)/ Altura(cm)	Diameter (mm)/ Diámetro (mm)	Root dry biomass (g)/ Biomasa seca raíz (g)	Shoot dry biomass (g)/ Biomasa seca aérea (g)	Total dry biomass (g)/ Biomasa seca total (g)
Substrate/Sustrato					
Base mixture/ Mezcla base	25.29 ± 1.84 a	1.91 ± 0.09 a	0.11 ± 0.01 a	0.54 ± 0.06 a	0.65 ± 0.06 a
50 % CB + 50 % PM/ 50 % CC + 50 % PM	19.24 ± 1.30 b	1.54 ± 0.08 b	0.10 ± 0.012 a	0.37 ± 0.04 b	0.47 ± 0.05 b
Irrigation frequency/Frecuencia de riego					
Every 48 h/Cada 48 h	23.86 ± 0.60 a	1.73 ± 0.03 a	0.11 ± 0.00 a	0.48 ± 0.05 a	0.59 ± 0.02 a
Every 96 h/Cada 96 h	20.68 ± 0.52 b	1.73 ± 0.03 a	0.10 ± 0.00 a	0.43 ± 0.05 b	0.53 ± 0.02 b
Moisture retainer/Retenedor de humedad					
0 g·L ⁻¹	19.27 ± 1.45 b	1.55 ± 0.08 c	0.09 ± 0.01 b	0.36 ± 0.04 b	0.45 ± 0.04 b
1.5 g·L ⁻¹	22.73 ± 0.73 a	1.71 ± 0.08 abc	0.11 ± 0.01 a	0.49 ± 0.05 a	0.60 ± 0.06 a
3 g·L ⁻¹	22.47 ± 1.41 a	1.82 ± 0.07 ab	0.10 ± 0.01 a	0.46 ± 0.04 a	0.56 ± 0.04 a
4.5 g·L ⁻¹	23.44 ± 1.74 a	1.86 ± 0.08 a	0.11 ± 0.012 a	0.50 ± 0.05 a	0.61 ± 0.06 a
6 g·L ⁻¹	23.44 ± 1.50 a	1.68 ± 0.08 bc	0.11 ± 0.012 a	0.47 ± 0.05 a	0.58 ± 0.06 a

Base mixture = peat moss (55 %) + vermiculite (24 %) + agrolite (21 %); CB = composted bark; PM = peat moss. ± Standard error of the mean. Different letters for the same variable, by factor, indicate significant differences according to Tukey's range test ($P < 0.05$).

Mezcla base = *peat moss* (55 %) + *vermiculita* (24 %) + *agrolita* (21 %); CC = *corteza composteada*; PM = *peat moss*. ± Error estándar de la media. Letras diferentes para la misma variable, por factor, indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de rangos múltiples de Tukey ($P < 0.05$).

it was found that in both substrates only the aeration porosity is in the range proposed by these authors. This may be due to the size of the particles in the substrates, because if the particle size increases, the amount of water retained decreases and the total pore space increases (Cruz et al., 2013). Also, the composted bark has a relatively low moisture retention capacity, which can be corrected by mixing it with other materials such as peat moss (García, Alcantar, Cabrera, Gavi, & Volke, 2001).

Hernández, Aldrete, Ordaz, López, and López (2014) produced *Pinus montezumae* Lamb. using different proportions of bark, sawdust, peat moss, perlite and vermiculite. In the treatments where they used composted bark in different proportions, aeration porosity ranged from 30 to 35 %, while the control (60 % peat moss + 30 % agrolite + 10 % vermiculite) obtained the lowest value (26 %), which is similar to the level obtained in this experiment, where the same elements of the control were used, only in a different proportion (55 % + 21 % + 24 %).

Regarding the moisture content in the substrates (Figure 2), there were also significant differences

La mezcla base propició un mejor desempeño de las plantas. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Prieto et al. (2013) en planta de *P. laevigata* producida en cinco mezclas de sustrato a base de corteza composteada (50 a 80 %) combinada con mezcla base (20 a 50 %), considerando un testigo (mezcla base similar a la de este ensayo).

La Figura 1 muestra la porosidad de los sustratos evaluados. Landis et al. (1990) recomiendan determinados rangos de porosidad total (60 a 80 %), capacidad de retención de agua (25 a 55 %) y porosidad de aireación (25 a 35 %). En este trabajo se encontró que, en ambos sustratos, solo la porosidad de aireación está en el rango propuesto por dichos autores. Esto posiblemente se deba al tamaño de las partículas en los sustratos, ya que, si el tamaño de partícula incrementa, la cantidad de agua retenida disminuye y el espacio poroso total incrementa (Cruz et al., 2013) asimismo, la corteza composteada tiene una capacidad de retención de humedad relativamente baja, lo cual puede corregirse al mezclarla con otros materiales como la turba (García, Alcantar, Cabrera, Gavi, & Volke, 2001).

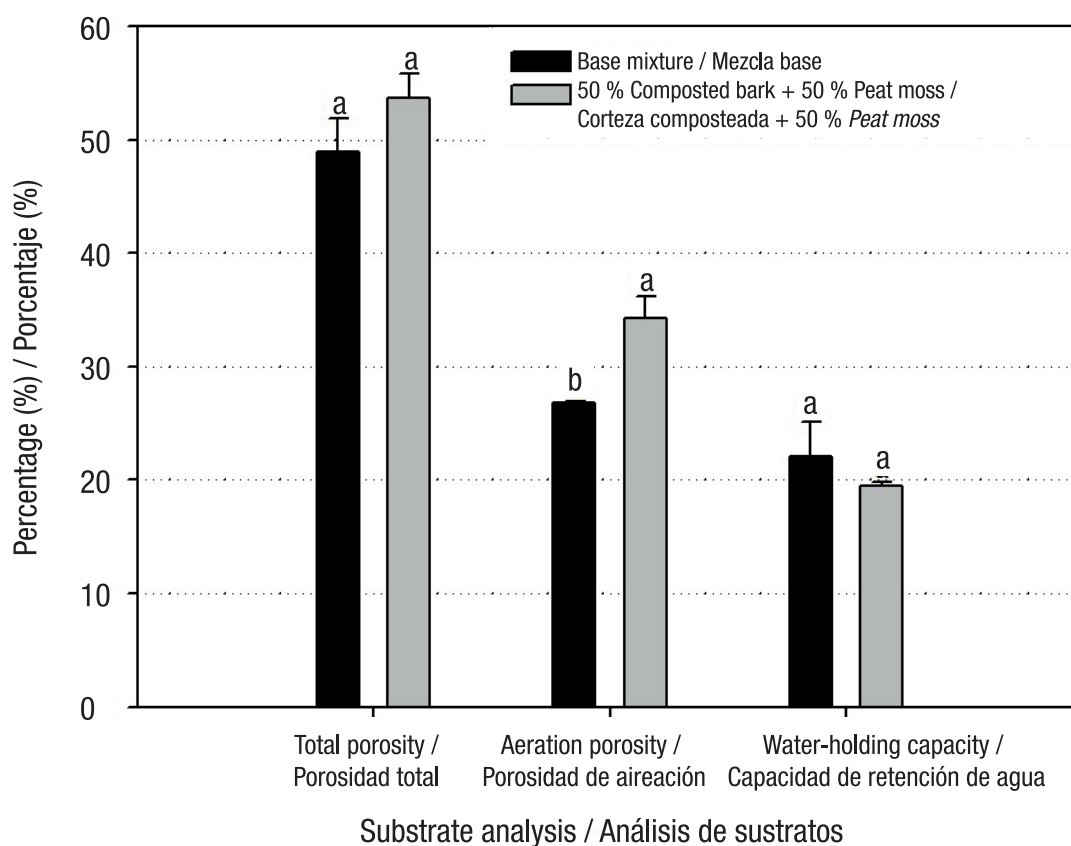


Figure 1. Total porosity, aeration porosity and water-holding capacity in two substrate mixtures. Base mixture = peat moss (55 %) + vermiculite (24 %) + agrolite (21 %). Different letters for the same variable indicate significant differences according to Tukey's test ($P < 0.05$). The standard error of the mean is shown on the bars.

Figura 1. Porosidad total, porosidad de aireación y capacidad de retención de agua en dos mezclas de sustratos. Mezcla base = peat moss (55 %) + vermiculita (24 %) + agrolita (21 %). Letras diferentes para la misma variable indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Sobre las barras se indica el error estándar de la media.

($P < 0.05$) among treatments. In the case of the base mixture, the value after irrigation was 243.4 %, while for the composite mixture (50 % CB + 50 % PM) it was 171.7 %; by contrast, 48 h after watering the plant, the value decreased to 214.7 % for the base mixture and 167.1 % for the composite. Although the moisture content, at 48 h after irrigation, decreased more in the base mixture (28.7 % vs. 4.6 % for the composite mixture), this treatment maintained higher moisture, since the initial content was 29.4 % higher than in the composite mixture.

Effect of irrigation on growth of *P. laevigata*

When the plants were watered every 48 h, the variables height and shoot and total dry biomass production were 13.3, 10.4 and 10.2 % higher, respectively, than those irrigated every 96 h; the diameter and root biomass variables did not show statistical differences ($P > 0.05$, Table 2).

Hernández, Aldrete, Ordaz, López, y López (2014) produjeron *Pinus montezumae* Lamb. en diferentes proporciones de corteza, aserrín, turba, perlita y vermiculita. En los tratamientos donde utilizaron corteza composteada en diferentes proporciones, la porosidad de aireación varió de 30 a 35 %, mientras que el testigo (60 % de turba + 30 % de agrolita + 10 % de vermiculita) obtuvo el valor más bajo (26 %), lo cual es similar a lo obtenido en este experimento, donde se utilizaron los mismos elementos del testigo, solo que en proporción diferente (55 % + 21 % + 24 %).

Con relación al contenido de humedad en los sustratos (Figura 2), también existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos. En el caso de la mezcla base, el valor después del riego fue 243.4 %, mientras que para la mezcla compuesta (50 % CC + 50 % PM) fue 171.7 %; en cambio, 48 h después de regar la planta, el valor disminuyó a 214.7 % para la mezcla base y a 167.1 % para la compuesta. Aunque el porcentaje de

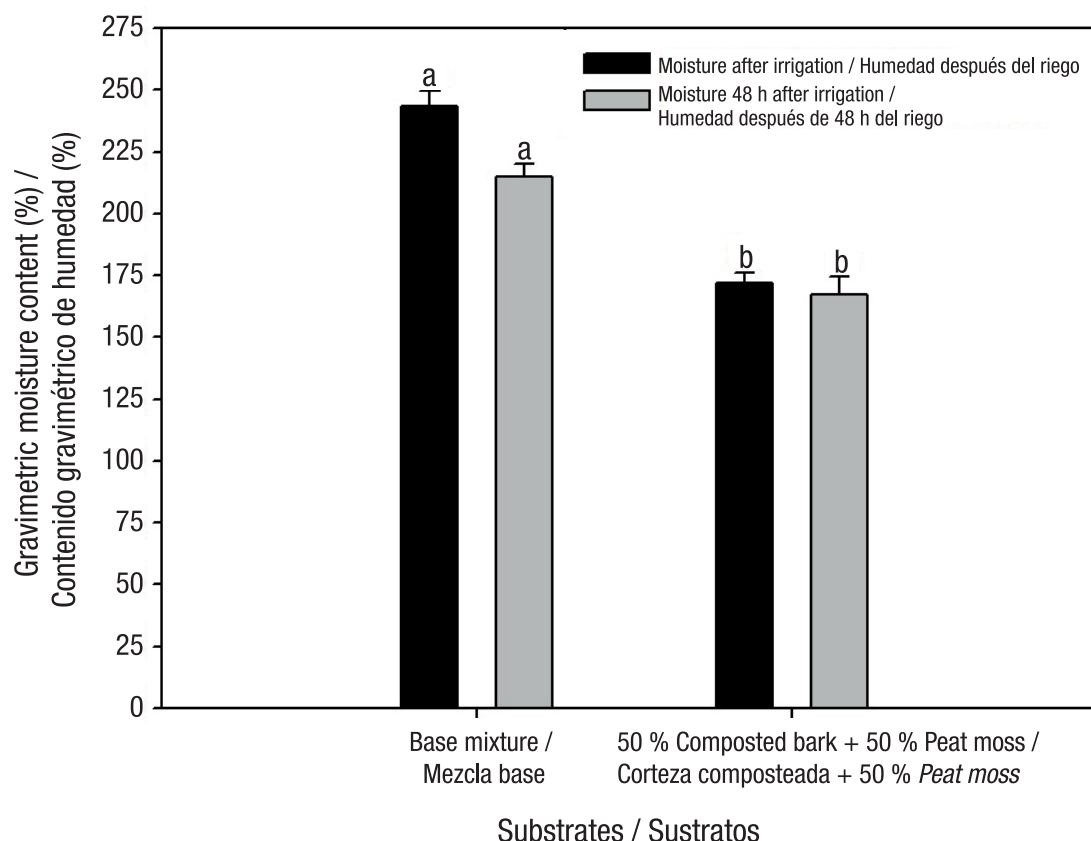


Figure 2. Gravimetric moisture content after irrigation and 48 h later in two substrate mixtures. Base mixture = peat moss (55 %) + vermiculite (24 %) + agrolite (21 %). Different letters for the same bar color indicate significant differences according to Tukey's test ($P < 0.05$). The standard error of the mean is shown on the bars.

Figura 2. Contenido gravimétrico de humedad después del riego y después de 48 h en dos mezclas de sustrato. Mezcla base = *peat moss* (55 %) + *vermiculita* (24 %) + *agrolita* (21 %). Letras diferentes para un mismo color de barra indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Sobre las barras se indica el error estándar de la media.

Maldonado, Aldrete, López, Vázquez, and Cetina (2011) reported that, in *Pinus greggii* Engelm., irrigation every 96 h led to height being up to 50 % lower in relation to the most frequent irrigations, which also occurred in the present study, only to a lesser degree (13.3 %). Ávila-Flores, Prieto-Ruíz, Hernández-Díaz, Wehenkel, and Corral-Rivas (2014) irrigated *Pinus engelmannii* Carr. with frequencies of 48, 96 and 192 h over 40 days and found that irrigation every 48 h favored plant growth in terms of height, diameter and biomass to a greater extent. In another study, López, Fernández, and Verga (2012) produced plants of *Prosopis chilensis* (Molina) Stuntz, *Prosopis flexuosa* DC. and two hybrids, to which irrigations were applied every 48, 72 and 120 h; the best growth in height and biomass was obtained with the most frequent irrigation condition. The results of the previous studies, although with different species, coincide with those of the present trial in the sense that frequent irrigation favors available moisture and, consequently, plant growth (Figure 2; Table 2).

humedad, a las 48 h del riego, disminuyó en mayor proporción en la mezcla base (28.7 % contra 4.6 % de la mezcla compuesta), este tratamiento mantuvo mayor humedad, debido a que el contenido inicial fue 29.4 % superior que en la mezcla compuesta.

Efecto del riego sobre el crecimiento de *P. laevigata*

Cuando las plantas fueron regadas cada 48 h, las variables altura, producción de biomasa seca de la parte aérea y total fueron 13.3, 10.4 y 10.2 % superiores, respectivamente, que las regadas cada 96 h; las variables diámetro y biomasa de la raíz no mostraron diferencias estadísticas ($P > 0.05$, Cuadro 2).

Maldonado, Aldrete, López, Vázquez, y Cetina (2011) reportaron que, en *Pinus greggii* Engelm., el riego cada 96 h propició que la altura fuera menor hasta en 50 % con relación a los riegos más frecuentes, lo cual también ocurrió en el presente trabajo, solo que en menor

On the other hand, López et al. (2014) demonstrated that the flood irrigation system promotes better root development and density in the production of *P. laevigata* in the nursery. In the present work there were no significant differences in root biomass production, while height and shoot biomass were higher with the most frequent irrigations.

Effect of moisture retainers on growth of *P. laevigata*

The moisture retainer doses showed significant differences ($P < 0.05$) in the variables evaluated (Table 2) with maximum differences among treatments of 17.8 % for height, 16.7 % for neck diameter, 18.2 % for root dry biomass, 28.0 % for shoot biomass and 26.2 % for total biomass. With the exception of the control (without moisture retainer), which was located at the lower statistical level in all evaluated variables, there was no defined behavioral trend in the other treatments, except for neck diameter where the plant cultivated with the 4.5 g·L⁻¹ moisture retainer dose stood out.

With respect to moisture, the 6.0 and 4.5 g·L⁻¹ doses resulted in the highest content in the substrate ($P < 0.05$) immediately after irrigation and 48 h later (Figure 3). However, the addition of a higher moisture retainer dose did not necessarily favor plant growth, so one can reduce the dose and get similar results.

Lazarević, Vilotić, and Keca (2015) applied polymers in the production of *Quercus ilex* L. and *Acer dasycarpum* Ehrh. in the nursery, which led to greater growth. These results agree with those of Lahís, Luduvico, Glauce, and Marcos (2015), who added moisture retainers (0 to 4 g·L⁻¹ of substrate) in *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos and found that doses of 2 to 4 g·L⁻¹ generated the conditions for greater plant growth in height and diameter in the nursery. The above results coincide in the sense that applying moisture retainers favors plant growth, since moisture is available for a longer time in the substrate, facilitating absorption by the root system (Chirino, Vilagrosa, & Vallejo, 2011).

Landis and Haase (2012) indicate that when moisture retainers are applied, fine roots are protected against desiccation, improving root-to-soil contact. In studies carried out in *Picea abies* (L.) Karst, *Pinus sylvestris* L. and *Fagus sylvatica* L., hydrogel increased the root biomass from 5 to 45 times in comparison with the control (without hydrogel), which favored survival in sandy soils compared to other soils (Orikiriza et al., 2013). In the case of the present work, root biomass production showed percentage differences of up to 18.2 % in relation to the control; possibly, the plant took advantage of the available moisture for the root system to increase in volume.

proporción (13.3 %). Ávila-Flores, Prieto-Ruíz, Hernández-Díaz, Wehenkel, y Corral-Rivas (2014) aplicaron riegos en *Pinus engelmannii* Carr. con frecuencias de 48, 96 y 192 h durante 40 días y encontraron que el riego cada 48 h favoreció el crecimiento de las plantas en altura, diámetro y biomasa en mayor medida. En otro estudio, López, Fernández, y Verga (2012) produjeron plantas de *Prosopis chilensis* (Molina) Stuntz, *Prosopis flexuosa* DC. y dos híbridos, a los que se aplicaron riegos cada 48, 72 y 120 h; los mejores crecimientos en altura y biomasa se obtuvieron con la condición de riego más frecuente. Los resultados de los estudios anteriores, aunque con especies diferentes, coinciden con los de este ensayo en el sentido de que los riegos frecuentes favorecen la humedad disponible y, por consiguiente, el crecimiento de las plantas (Figura 2; Cuadro 2).

Por otra parte, López et al. (2014) demostraron que el sistema de riego por inundación promueve mejor el desarrollo y la densidad de raíces en la producción de *P. laevigata* en vivero. En el presente trabajo no existieron diferencias significativas en la producción de biomasa de la raíz, mientras que la altura y la biomasa aérea si fueron mayores con los riegos más frecuentes

Efecto de los retenedores de humedad sobre el crecimiento de *P. laevigata*

Las dosis de retenedores de humedad mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en las variables evaluadas (Cuadro 2) con diferencias máximas entre tratamientos de 17.8 % para la altura, 16.7 % para el diámetro del cuello, 18.2 % para la biomasa seca de la raíz, 28.0 % para la biomasa del tallo y 26.2 % para la biomasa total. Con excepción del testigo (sin retenedor de humedad), el cual quedó ubicado en el nivel estadístico inferior en todas las variables evaluadas, no hubo una tendencia de comportamiento definida en los demás tratamientos, salvo el diámetro del cuello donde sobresalió la planta cultivada con la dosis de 4.5 g·L⁻¹ de retenedor de humedad.

Con respecto a la humedad, las dosis de 6.0 y 4.5 g·L⁻¹ ocasionaron el mayor contenido en el sustrato ($P < 0.05$) inmediatamente después del riego y 48 h después (Figura 3). No obstante, la adición de una dosis mayor de retenedor de humedad no favoreció necesariamente el crecimiento de las plantas, por lo que se puede reducir la dosis y obtener resultados similares.

Lazarević, Vilotić, y Keca (2015) aplicaron polímeros en la producción de *Quercus ilex* L. y *Acer dasycarpum* Ehrh. en vivero, lo cual propició un crecimiento mayor. Estos resultados concuerdan con Lahís, Luduvico, Glauce, y Marcos (2015), quienes agregaron retenedores de humedad (0 a 4 g·L⁻¹ de sustrato) en *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos y encontraron que las dosis de

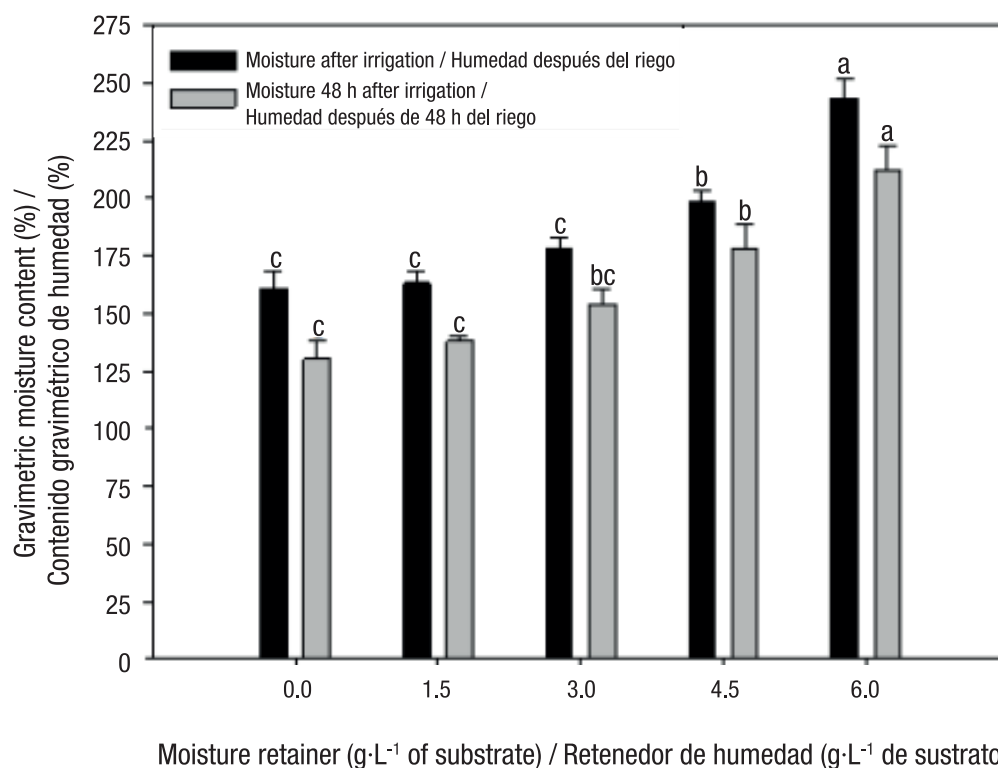


Figure 3. Gravimetric moisture content in the substrate, after irrigation and 48 h later, with different moisture retainer doses. Different letters for the same bar color indicate significant differences according to Tukey's test ($P < 0.05$). The standard error of the mean is shown on the bars.

Figura 3. Contenido gravimétrico de humedad en el sustrato, después del riego y 48 h después, con diferentes dosis de retenedores de humedad. Letras diferentes para el mismo color de barra indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Sobre las barras se indica el error estándar de la media.

Interaction of substrate, irrigation frequency and moisture retainer factors on growth of *P. laevigata*

The effect of substrate, moisture retainer and irrigation frequency interaction was significant ($P < 0.05$) in the evaluated variables. Table 3 shows the results of the interaction of these factors. The variables that showed the best response are generally associated with the use of the base mixture as substrate, irrigation every 48 h and 4.5 g·L⁻¹ of moisture retainer. Although this dose slightly outperformed the others, its results are similar to those of 1.5 and 6.0 g·L⁻¹; the lowest dose may be a viable option since it contains two-thirds less product than the 4.5 g·L⁻¹ one, which in turn implies lower costs.

The combination of the factors irrigation frequency and moisture retainer dose may be favorable under certain conditions, as in this study. This does not coincide with the results of Sandoval-Méndez et al. (2000) in *Pinus cembroides* Zucc., where the combination of abundant and limited irrigations with different hydrogel doses only favored growth in height in the abundant irrigation, regardless of the polymer dose used.

2 a 4 g·L⁻¹ generaron las condiciones para un crecimiento mayor en altura y en diámetro de la planta en vivero. Los resultados anteriores coinciden en el sentido de que la aplicación de retenedores de humedad favorece el crecimiento de las plantas, ya que la humedad se encuentra disponible por mayor tiempo en el sustrato, facilitando la absorción por parte del sistema radical (Chirino, Vilagrosa, & Vallejo, 2011).

Landis y Haase (2012) indican que cuando se aplican retenedores de humedad, las raíces finas se protegen contra la desecación mejorando el contacto con el suelo. En estudios realizados en *Picea abies* (L.) Karst, *Pinus sylvestris* L. y *Fagus sylvatica* L., el hidrogel aumentó la biomasa radical de cinco a 45 veces en comparación con el testigo (sin hidrogel), lo que favoreció la supervivencia en suelos arenosos en comparación con otros suelos (Orikiriza et al., 2013). En el caso del presente trabajo, la producción de biomasa radical mostró diferencias porcentuales de hasta 18.2 % con relación al testigo; posiblemente, la planta aprovechó la humedad disponible para que el sistema radical incrementara en volumen.

Table 3. Variables evaluated in *Prosopis laevigata* produced in the nursery by a combination of substrates, moisture retainers and irrigation frequencies. Cuadro 3. Variables evaluadas en *Prosopis laevigata* producida en vivero mediante la combinación de sustratos, retenedores de humedad y frecuencias de riego.

	Substrates / Sustratos	Moisture retainer (g·L ⁻¹) substrate / Retenedor de humedad (g·L ⁻¹) sustrato)	Irrigation frequency (h) /Frecuencia de riego (h)	Height (cm) / Altura (cm)	Diameter (mm) / Diámetro (mm)	RDB (g) / BSR (g)	SDB (g) / BSPA (g)	TDB (g) / BST (g)
1	Base mixture / Mezcla base	0.0	48	21.38 ± 1.92 abcde	1.74 ± 0.08 abcde	0.09 ± 0.01 ab	0.38 ± 0.04 abcdef	0.47 ± 0.05 abcde
2	Base mixture / Mezcla base	0.0	96	21.68 ± 1.47 abcde	1.87 ± 0.10 abcd	0.12 ± 0.01 ab	0.48 ± 0.05 abcdef	0.60 ± 0.06 abcde
3	Base mixture / Mezcla base	1.5	48	28.94 ± 1.77 a	1.99 ± 0.09 ab	0.12 ± 0.01 ab	0.59 ± 0.06 ab	0.71 ± 0.07 ab
4	Base mixture / Mezcla base	1.5	96	24.27 ± 2.18 abcde	1.89 ± 0.09 abc	0.11 ± 0.01 ab	0.53 ± 0.07 abcde	0.65 ± 0.08 abcd
5	Base mixture / Mezcla base	3.0	48	26.75 ± 2.16 a	1.85 ± 0.10 abcd	0.09 ± 0.01 ab	0.57 ± 0.06 abc	0.66 ± 0.07 abcd
6	Base mixture / Mezcla base	3.0	96	24.17 ± 1.35 abcde	1.98 ± 0.08 ab	0.12 ± 0.01 ab	0.53 ± 0.04 abcde	0.65 ± 0.05 abcd
7	Base mixture / Mezcla base	4.5	48	28.33 ± 2.36 a	2.05 ± 0.09 a	0.12 ± 0.01 ab	0.62 ± 0.07 a	0.74 ± 0.09 a
8	Base mixture / Mezcla base	4.5	96	25.19 ± 1.88 abcd	1.89 ± 0.08 abc	0.12 ± 0.01 ab	0.56 ± 0.05 abc	0.68 ± 0.06 abc
9	Base mixture / Mezcla base	6.0	48	25.91 ± 1.87 abc	1.87 ± 0.08 abc	0.11 ± 0.01 ab	0.55 ± 0.06 abcd	0.65 ± 0.07 abcd
10	Base mixture / Mezcla base	6.0	96	26.30 ± 1.43 ab	1.98 ± 0.07 ab	0.12 ± 0.01 ab	0.59 ± 0.05 ab	0.70 ± 0.05 ab
11	50 % CB + 50 % PM / 50 % CC + 50 % PM	0.0	48	17.75 ± 1.18 cde	1.16 ± 0.07 f	0.09 ± 0.01 ab	0.29 ± 0.03 ef	0.38 ± 0.04 cde
12	50 % CB + 50 % PM / 50 % CC + 50 % PM	0.0	96	16.29 ± 1.24 e	1.45 ± 0.06 def	0.06 ± 0.01 b	0.28 ± 0.03 f	0.34 ± 0.04 e
13	50 % CB + 50 % PM / 50 % CC + 50 % PM	1.5	48	21.00 ± 1.71 abcde	1.39 ± 0.09 ef	0.14 ± 0.01 a	0.51 ± 0.05 abcdef	0.65 ± 0.07 abcd
14	50 % CB + 50 % PM / 50 % CC + 50 % PM	1.5	96	16.70 ± 1.26 e	1.58 ± 0.06 bcdef	0.09 ± 0.01 ab	0.33 ± 0.04 cdef	0.42 ± 0.05 bcde
15	50 % CB + 50 % PM / 50 % CC + 50 % PM	3.0	48	22.64 ± 1.48 abcde	1.89 ± 0.06 abc	0.12 ± 0.01 ab	0.46 ± 0.03 abcdef	0.58 ± 0.04 abcde

Table 3. Variables evaluated in *Prosopis laevigata* produced in the nursery by a combination of substrates, moisture retainers and irrigation frequencies. Cuadro 3. Variables evaluadas en *Prosopis laevigata* producida en vivero mediante la combinación de sustratos, retenedores de humedad y frecuencias de riego.

	Substrates / Sustratos	Moisture retainer (g·L ⁻¹ substrate) / Retenedor de humedad (g·L ⁻¹ sustrato)	Irrigation frequency (h) / Frecuencia de riego (h)	Height (cm) / Altura (cm)	Diameter (mm) / Diámetro (mm)	RDB (g) / BSR (g)	SDB (g) / BSPA (g)	TDB (g) / BST (g)
16	50 % CB + 50 % PM / 50 % CC + 50 % PM	3.0	96	16.31 ± 0.68 e	1.57 ± 0.06 bcdef	0.08 ± 0.01 ab	0.30 ± 0.02 def	0.38 ± 0.03 de
17	50 % CB + 50 % PM / 50 % CC + 50 % PM	4.5	48	21.74 ± 1.43 abcde	1.91 ± 0.08 ab	0.11 ± 0.02 ab	0.45 ± 0.05 abcdef	0.56 ± 0.06 abcde
18	50 % CB + 50 % PM / 50 % CC + 50 % PM	4.5	96	18.51 ± 1.28 bcde	1.59 ± 0.09 bcde	0.09 ± 0.01 ab	0.37 ± 0.04 bcdef	0.46 ± 0.05 abcde
19	50 % CB + 50 % PM / 50 % CC + 50 % PM	6.0	48	24.14 ± 1.72 abcde	1.47 ± 0.06 cdef	0.12 ± 0.01 ab	0.48 ± 0.05 abcdef	0.60 ± 0.06 abcde
20	50 % CB + 50 % PM / 50 % CC + 50 % PM	6.0	96	17.40 ± 0.99 de	1.41 ± 0.13 ef	0.11 ± 0.02 ab	0.34 ± 0.04 cdef	0.44 ± 0.05 bcde

Base mixture = peat moss (55 %) + vermiculite (24 %) + agrolite (21 %); CB = composted bark; PM = peat moss; RDB = root dry biomass; SDB = shoot dry biomass; TDB = total dry biomass. ± Standard error of the mean. Different letters for the same variable indicate significant differences according to Tukey's range test ($P < 0.05$).

Mezcla base = peat moss (55 %) + vermiculita (24 %) + agrolita (21 %); CC = corteza composteada; PM = peat moss; BSR = biomasa seca raíz; BSPA = biomasa seca parte aérea; BST = biomasa seca total. ± error estándar de la media. Letras diferentes para la misma variable indican diferencias significativas según la prueba de rangos múltiples de Tukey ($P < 0.05$).

Pereira, Monteiro, and Madureira (2013) produced *Passiflora edulis* Sims plants by applying irrigation intervals of 24, 48 and 72 h with 0 and 3 g·L⁻¹ of hydrogel in the substrate composed of soil plus manure (3:1) and Bioplant®. These authors obtained the best results in biomass production with the 3 g·L⁻¹ hydrogel treatment, regardless of the irrigation frequency. Again, the importance of adequate water use to promote plant growth, as was the case in the present study, is evident, although the substrate was the most influential factor.

Although the plant was under experimentation for only three months, the maximum differences in the response variables were considerable: height (16.3 to 28.9 cm), diameter (1.16 to 2.05 mm), root biomass (0.06 to 0.14 g), shoot biomass (0.28 to 0.62 g) and total biomass (0.34 to 0.74 g), showing that the influence of the evaluated factors (substrate, irrigation frequency and moisture retainer dose) was noteworthy with the most positive effects obtained with the base mixture, irrigation every 48 h and the application of moisture retainers at doses of 1.5, 4.5 or 6.0 g·L⁻¹ of substrate.

Based on the results obtained, the substrate factor was the one that most influenced plant growth, since it generated the greatest differences in the response variables, among treatments, with ranges from 19.4 to 28.0 %; after that, the effect of the moisture retainers was demonstrated with maximum differences among treatments of 16.7 to 27.7 %, and finally, the irrigation frequency factor had maximum differences of 13.3 %.

Conclusions

Substrate was the factor that most influenced the quality of *Prosopis laevigata* plants, followed by irrigation frequency and moisture retainers. The combinations formed by the base mixture (peat moss [55 %] + vermiculite [24 %] + agrolite [21 %]), irrigation every 48 h and moisture retainer at doses of 1.5, 4.5 or 6.0 g·L⁻¹ of substrate were the ones that most contributed to increased plant height, diameter and biomass production. The results found may serve as a basis for exploring other possibilities to improve the quality of the plant.

Acknowledgments

The authors are grateful to Roberto Martínez Anrubio, who was the conduit to obtain the moisture retainer samples used for the evaluation of plant production.

Interacción de los factores sustrato, frecuencia de riego y retenedor de humedad sobre el crecimiento de *P. laevigata*

El efecto de la interacción de los factores sustrato, retenedor de humedad y frecuencia de riego fue significativo ($P < 0.05$) en las variables evaluadas. El Cuadro 3 muestra los resultados de la interacción de dichos factores. Las variables que manifestaron mejor respuesta están asociadas, en general, al uso de mezcla base como sustrato, riego cada 48 h y retenedor de humedad de 4.5 g·L⁻¹ de sustrato. Aunque esta dosis sobresalió ligeramente, le siguen las de 1.5 y 6.0 g·L⁻¹ con resultados similares; la dosis menor puede ser una opción viable al representar dos terceras partes menos de producto con respecto a la sobresaliente, lo cual a su vez repercute en menores costos.

La combinación de los factores frecuencia de riego y dosis de retenedores de humedad puede ser favorable en ciertas condiciones, tal como sucedió en este estudio. Esto no coincide con los resultados de Sandoval-Méndez et al. (2000) en *Pinus cembroides* Zucc., donde la combinación de riegos abundantes y limitados con diferentes dosis de hidrogel solo favoreció el crecimiento en altura en el riego abundante, independientemente de la dosis del polímero utilizado.

Pereira, Monteiro, y Madureira (2013) produjeron plantas de *Passiflora edulis* Sims aplicando intervalos de riego de 24, 48 y 72 h con 0 y 3 g·L⁻¹ de hidrogel en el sustrato compuesto por suelo más estiércol (3:1) y Bioplant®. Dichos autores obtuvieron los mejores resultados en producción de biomasa con el tratamiento de 3 g·L⁻¹ de hidrogel, sin importar la frecuencia de riego. Nuevamente se evidencia la importancia que tiene el uso adecuado de agua para propiciar el crecimiento de la planta, tal como sucedió en este ensayo, aunque el factor de mayor influencia fue el sustrato.

A pesar de que la planta estuvo bajo experimentación solo tres meses, las diferencias máximas en las variables respuesta fueron considerables: altura (16.3 a 28.9 cm), diámetro (1.16 a 2.05 mm), biomasa de la raíz (0.06 a 0.14 g), biomasa aérea (0.28 a 0.62 g) y biomasa total (0.34 a 0.74 g), lo que muestra que la influencia de los factores evaluados (sustrato, frecuencia de riego y dosis de retenedores de humedad) fue notoria con los efectos más positivos en la mezcla base, el riego cada 48 h y la aplicación de retenedores de humedad en dosis de 1.5, 4.5 o 6.0 g·L⁻¹ de sustrato.

Con base en los resultados obtenidos, se considera que el factor sustrato fue el que más influyó en el crecimiento de las plantas, ya que generó las diferencias más altas en las variables respuesta, entre tratamientos, con rangos del 19.4 a 28.0 %; posterior

End of English version

References / Referencias

- Ávila-Flores, I. J., Prieto-Ruíz, J. A., Hernández-Díaz, J. C., Wehenkel, A. C., & Corral Rivas, J. J. (2014). Preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. mediante déficit de riego en vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(3), 237–245. doi: 10.5154/r.rchscfa.2014.02.004
- Cheruiyot, G., Sirmah, P., Ng'etich, W., Mengich, E., Mburu, F., Kimaiyo, S., & Bett, E. (2014). Effects of hydrogels on soil moisture and growth of *Cajanus cajan* in semiarid zone of Kongelai, West Pokot County. *Open Journal of Forestry*, 4, 34–37. doi: 10.4236/ojf.2014.41006
- Chirino, E., Vilagrosa, A., & Vallejo, V. R. (2011). Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. *Plant and Soil*, 344(1-2), 99–110. doi: 10.1007/s11104-011-0730-1.
- Cruz, C., E., Can, C. A., Sandoval, V. M., Bugarín, M. R., Robles, B. A., & Juárez, L. P. (2013). Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias*, 2(2), 17–26. Retrieved from <http://biociencias.uan.edu.mx/publicaciones/03-02/biociencias3-2-2.pdf>
- García, C. O., Alcantar, G. G., Cabrera, R. I., Gavi, R. F., & Volke, H. V. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra*, 19(3), 249–258. Retrieved from <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/19/3/art249-258.pdf>
- Hernández, Z. L., Aldrete, A., Ordaz, C. V. M., López, U. J., & López, L. M. A. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia*, 48, 627–637. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30232501005>
- Landis, T. D., & Haase, D. L. (2012). Applications of hydrogels in the nursery and during outplanting. In D. L. Haase, J. R. Pinto, & L. E. Riley (Technical Coordinators), *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2011* (pp. 53–58). Fort Collins, CO, USA: USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-68. Retrieved from https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p068/rmrs_p068_053_058.pdf
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett J. P. (1990). *Containers and growing media* (vol. 2). *The container tree nursery manual*. Washington, DC, USA: U. S. Department of Agriculture, Forest Service. Retrieved from <https://rnrgr.net/publications/ctnm/volume-2>
- Lahís, M. C., Luduvico, S. J. R., Glauce, T. O. S. A., & Marcos, S. A. (2015). Efeito do hidrogel e ureia na produção de mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos. *Floresta e Ambiente*, 22(1), 107–116. doi: 10.1590/2179-8087.080814
- Lazarevic, J., Vilotic, D., & Keca, N. (2015). Mycorrhization and use of superabsorbent polymers in targeted production of hardwoods planting material. *Agriculture & Forestry*, 61, 295–307. Retrieved from <http://www.agricultforest.ac.me/data/20150318-37%20Lazarevic%20et%20al.pdf>
- a ello se manifestó el efecto de los retenedores de humedad con diferencias máximas entre tratamientos de 16.7 a 27.7 % y, finalmente, el factor frecuencia de riego tuvo diferencias máximas de 13.3 %.

Conclusiones

El sustrato fue el factor que más influyó en la calidad de las plantas de *Prosopis laevigata*, posterior a ello siguieron la frecuencia de riego y los retenedores de humedad. Las combinaciones formadas por la mezcla base (peat moss [55 %] + vermiculita [24 %] + agrolita [21 %]), riego cada 48 h y retenedor de humedad en dosis de 1.5, 4.5 o 6.0 g·L⁻¹ de sustrato fueron las que más contribuyeron en el crecimiento en altura, diámetro y producción de biomasa de las plantas. Los resultados encontrados pueden servir de base para explorar otras posibilidades que permitan mejorar la calidad de la planta.

Agradecimientos

A Roberto Martínez Anrubio, quien fue el conducto para obtener las muestras del retenedor de humedad utilizado para su evaluación en la producción de planta.

Fin de la versión en español

- López-Elías, J., Garza, O. S., Jiménez, L. J., Huez, L. M. A., & Garrido, L. O. D. (2016). Uso de un polímero hidrófilo a base de poliacrilamida para mejorar la eficiencia en el uso del agua. *European Scientific Journal*, 12(15), 1857–1881. doi: 10.19044/esj.2016.v12n15p160
- López, H. J. A., Ríos, S. J. C., Monárrez, G. J. C., Rosales, M. S., Mejía, B. J. M., & Bustamante, G. V. (2010). *Tecnología disponible para la obtención de semilla de mezquite en el norte de México*. Durango, México: INIFAP.
- López, L. D., Fernández, M. E., & 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, 43–52. Retrieved from <http://www.scielo.org.ar/pdf/ecoaus/v22n1/v22n1a05.pdf>
- López, M. P. L., Villalón, M. H., Yerena, Y. J. I., Jiménez, P. J., Guevara, G. J. A., & Martínez, B. R. A. (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. Retrieved from <http://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v10-n2-2-sistemas-de-riego-para-la-produccion-de-plantas-de-prosopis-laevigata.pdf>
- Maldonado, B. K. R., Aldrete, A., López, U. J., Vaquera, H. H., & Cetina, A. V. M. (2011). Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego,

- en vivero. *Agrociencia*, 43(3), 389–398. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000300011
- Oriquiriza, L. J. B., Agaba, H., Eilu, G., Kabasa, J. D., Worbes, M., & Hüttermann, A. (2013). Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soils before and after water stress. *Journal of Environmental Protection*, 4, 713–721. doi: 10.4236/jep.2013.47082
- Palacios-Romero, A., Rodríguez-Laguna, R., Razo-Zarate, R., Meza-Rangel, J., Prieto-García, F., Hernández-Flores, M. de L. (2017). Survival of plants of *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., by adding water reservoirs at transplanting in a greenhouse. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(1), 35–45. doi: 10.5154/r.rchscfa.2015.10.046
- Pereira, C. R., Monteiro, M. C., & Madureira, M. L. (2013). Frequência de irrigação utilizando polímero hidroabsorvente na produção de mudas de Maracujazeiro-amarelo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(2), 518–526. doi: 10.1590/S0100-29452013000200022
- Prieto, R. J. A., Rosales, M. S., Madrid, A. R. E., Mejía, B. J. M., & Sigala, R. J. A. (2013). Producción de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd) en diferentes mezclas de sustratos en vivero. *Revista Mexicana de Ciencia Forestales*, 4(20), 50–57. Retrieved from <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/Forestales/article/viewFile/3144/2593>
- Ríos-Saucedo, J. C., Rivera-González, M., Valenzuela-Núñez, L. M., Trucíos-Caciano, R., & Rosales-Serna, R. (2012). Diagnóstico de las reforestaciones de mezquite y métodos para incrementar su sobrevivencia en Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 11(2), 63–67. Retrieved from https://chapingo.mx/revistas/zonas_aridas/contenido.php?id_articulo=1388&doi=0000&id_revista=8
- Ríos, S. J. C., Martínez, S. M., & Mojica, G. A. S. (2013). Caracterización ecológica y socioeconómica del mezquite (*Prosopis* spp.) (Capítulo II). In M. Martínez S. (Ed.), *Ecología y usos de especies forestales de interés comercial de las zonas áridas de México* (pp. 42–68). Aldama, Chihuahua, México: Sitio Experimental La Campana, Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP. Retrieved from http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/4067/CIRNOC_010106126600053621.pdf?sequence=1
- Rodríguez, S. E. N., Rojo, M. G. E., Ramírez, V. B., Martínez, R. R., Cong, H. M. C., Medina, T. S. M., & Piña, R. H. H. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), 173–193. Retrieved from <http://redalyc.org/www.redalyc.org/articulo.oa?id=46131111013>
- Sandoval-Méndez, C., Cetina-Alcalá, V. M., Yeaton, R., & Mohedano-Caballero, L. (2000). Sustratos y polímeros en la producción de planta de *Pinus cembroides* Zucc. bajo condiciones de invernadero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 6(2), 143–150. Retrieved from https://chapingo.mx/revistas/forestales/contenido.php?id_articulo=334&doi=1111&id_revista=3
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.). (2002). SAS version 9.0. Cary, NC, USA: Author.
- Trucíos, C. R., Ríos, S. J. C., Estrada, A. J., Valenzuela, N. L. M., & Jacinto S. R. (2011). Distribución espacial y cambio de uso del suelo en poblaciones naturales de mezquite (capítulo II). In J. C. Ríos, R. Trucíos, L. M. Valenzuela, G. Sosa, & R. Rosales (Eds.), *Importancia de las poblaciones de mezquite en el norte-centro de México* (pp. 21–48). Gómez Palacio, Durango, México: CENID-RASPA, INIFAP.