

# Survival of plants of *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltld. & Cham., by adding water reservoirs at transplanting in a greenhouse

Supervivencia de plantas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltld. & Cham., al adicionar reservorios de agua al momento de trasplante en invernadero.

Abraham Palacios-Romero<sup>1</sup>; Rodrigo Rodríguez-Laguna<sup>2\*</sup>; Ramón Razo-Zárate<sup>2</sup>; Joel Meza-Rangel<sup>2</sup>; Francisco Prieto-García<sup>1</sup>; M. de la Luz Hernández-Flores<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del Conocimiento. Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5. C. P. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo. México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias. Av. Universidad km 1, Ex-hacienda de Aquetzalpa. A. P. 32 C. P. 43600. Tulancingo, Hidalgo. México. rodris71@yahoo.com Tel.: (+52) 771 71 7 2000 ext. 2431.

## Abstract

In Mexico, several reforestation programs have been launched; they generally fail to achieve good survival rates, mainly due to drought. To mitigate this, technologies that help plants survive in the early years should be generated. In light of this, the effect of adding water reservoirs at transplanting on survival, height, diameter and biomass of *Pinus leiophylla* plants, grown under simulated drought conditions in a greenhouse, was evaluated. Plants were arranged in a completely randomized design and four treatments were used: control, a 231-cc phenolic foam block, a 308-cc phenolic foam block and three grams of hydrogel, all hydrated with tap water. A survival analysis was performed, yielding significant difference between control and the other treatments ( $P = 0.000008$ ). No statistically significant differences were found in height. Statistically significant differences were found in diameter among treatments at 8 ( $P = 0.013$ ) and 12 weeks ( $P = 0.002$ ). Statistically significant differences were detected in biomass among treatments ( $P = 0.0001$ ). Adding hydrated open-cell phenolic foam at transplanting significantly increased survival time and diameter of *P. leiophylla* under drought conditions.

**Keywords:** phenolic foam, hydrogel, drought resistance, reforestation.

## Resumen

En México se han puesto en marcha programas de reforestación que no logran buenos porcentajes de supervivencia, principalmente por el efecto de la sequía. Para mitigarlo deben generarse tecnologías que ayuden a las plantas a sobrevivir en los primeros años. Considerando lo anterior, el efecto de la adición de reservorios de agua al momento del trasplante se evaluó sobre la supervivencia, altura, diámetro y biomasa de plantas de *Pinus leiophylla*, bajo condiciones de sequía simulada en invernadero. Las plantas se evaluaron en un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos: Testigo, bloque de espuma fenólica de 231 cc, bloque de espuma fenólica de 308 cc e hidrogel hidratado (3 g) con agua potable. El análisis de supervivencia mostró diferencias significativas entre el testigo y el resto de los tratamientos ( $P = 0.000008$ ). En la variable altura no se presentaron diferencias significativas. Con respecto al diámetro, se encontraron diferencias significativas en las semanas ocho ( $P = 0.013$ ) y 12 ( $P = 0.002$ ). La biomasa también fue estadísticamente diferente entre los tratamientos ( $P = 0.0001$ ). La adición de espuma fenólica de célula abierta hidratada, al momento del trasplante, aumentó significativamente el tiempo de supervivencia y el diámetro de *P. leiophylla* en condiciones de sequía.

**Palabras clave:** espuma fenólica, hidrogel, resistencia a sequías, reforestación.

## Introduction

Mexico is estimated to have lost more than 44 million hectares of forests over the past 60 years (Velázquez, Durán, Mas, Bray, & Bocco, 2005). Faced with this situation, several reforestation programs have been put in place, but they have generally failed to achieve the desired results because the plants used die from various causes such as: zero site preparation, grazing, competition with native vegetation, diseases and fires; however, the factors with the greatest impact are drought and inappropriate planting dates (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], Colegio de Postgraduados, & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2008).

Climate change has altered rainfall patterns, prolonging droughts, causing plants to be exposed to increased water stress and resulting in low survival in the field (Hanjra & Qureshi, 2010). Some technologies that help provide resistance to water stress in different species of commercial interest have been developed (Barón, Barrera, Boada, & Rodríguez, 2007). One of the technologies that has drawn the most attention is the use of hydrogel, a polymer capable of absorbing up to 400 mL of water per gram dry weight (Ahmed, 2013). However, it has been shown that soil texture can affect the performance of the hydrogel (Agaba et al., 2010), and water salinity can decrease its effectiveness (Akhter et al., 2004). Moreover, other authors state that applying the polymer does not provide benefits to plantations (Farrell, Ang, & Rayner, 2013).

In this regard, open-cell phenolic foam has been proposed as an alternative, being a thermosetting synthetic resin able to save more than 40 times its own weight in water without suffering deformation (Gardziella, Pilato, & Knop, 2000). Due to the foam's physical structure, plant roots can pass through it and make use of the trapped water. This type of foam is used in hydroponic greenhouses and its effectiveness as a substrate is widely documented (Bezerra et al., 2010; Chugh, Guha, & Rao, 2009; da Silva, Kager, de Moraes, & Gonçalves, 2012).

*Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. is found in transition zones between natural *Pinus* and *Quercus* forests and agricultural areas, thus fulfilling the important role of forest protection and buffering. The species is valued for its use in the production of poles, furniture and wood pulp, as well as being a source of firewood and charcoal for rural communities and industries (Musálem & Martínez, 2003).

In light of the above, the aim of this study was to evaluate the effect of adding water reservoirs at transplanting on the survival, growth in height and

## Introducción

Se estima que en México se han perdido más de 44 millones de hectáreas de bosques en los últimos 60 años (Velázquez, Durán, Mas, Bray, & Bocco, 2005). Ante esta situación se han puesto en marcha diversos programas de reforestación que no han logrado los resultados deseados, pues las plantas utilizadas mueren por diversas causas como son: nula preparación del terreno, pastoreo, competencia con la vegetación nativa, enfermedades e incendios; sin embargo, los factores que más inciden son la sequía y las fechas inapropiadas de plantación (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], Colegio de Postgraduados, & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2008).

El cambio climático ha modificado los patrones de lluvia prolongando las sequías y ocasionando que las plantas se expongan a un estrés hídrico mayor y supervivencia baja en campo (Hanjra & Qureshi, 2010). Algunas tecnologías que ayudan en la resistencia al estrés hídrico en diversas especies de interés comercial se han desarrollado (Barón, Barrera, Boada, & Rodríguez, 2007). Una de las tecnologías que más llama la atención es el uso de hidrogel, polímero capaz de absorber hasta 400 mL de agua por gramo seco (Ahmed, 2013). No obstante, se ha demostrado que la textura del suelo puede afectar el desempeño del hidrogel (Agaba et al., 2010), y la salinidad del agua puede disminuir la efectividad (Akhter et al., 2004). En contraste, otros autores afirman que la aplicación del polímero no aporta beneficios a las plantaciones (Farrell, Ang, & Rayner, 2013).

En ese sentido, la espuma fenólica de célula abierta se ha propuesto como alternativa; una resina sintética termoestable capaz de guardar más de 40 veces su propio peso en agua, sin sufrir deformación (Gardziella, Pilato, & Knop, 2000). Debido a la estructura física de la espuma, las raíces de las plantas pueden atravesarla y disponer del agua atrapada. Este tipo de espumas se usan en invernaderos hidropónicos y su efectividad como sustrato está ampliamente documentada (Bezerra et al., 2010; Chugh, Guha, & Rao, 2009; da Silva, Kager, de Moraes, & Gonçalves, 2012).

*Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. se encuentra en zonas de transición entre bosques naturales de *Pinus* y *Quercus* y zonas agropecuarias, por lo que cumple con la importante función de protección y amortiguamiento al bosque. La especie es valorada por su uso en la elaboración de postes, muebles y pasta de celulosa, además de ser fuente de leña y carbón vegetal para las comunidades e industrias rurales (Musálem & Martínez, 2003).

Considerando lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la adición de reservorios

diameter, and biomass of *P. leiophylla* plants grown under simulated drought conditions in a greenhouse.

## Materials and methods

### Experimental design

The trial was established in the Institute of Agricultural Sciences greenhouse at the Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, located at coordinates 20° 3' 36.44" N and 98° 22' 53.26" W. The one-year-old *P. leiophylla* plants were produced in a 77-cavity Styrofoam tray (170 cc per cavity). The substrate used was peat moss, perlite and vermiculite at a ratio of 3:1:1, with 6 g of Osmocote slow-release (eight months) fertilizer added per liter of mixture. Similar plants in height (25 to 30 cm) and diameter at the base (3.5 mm), disease-free, with ¾ of the stem lignified and with fully developed fascicles and needles were selected. The treatments applied at transplanting are described in Table 1.

Individual plants were transplanted into 40 x 40 x 40 cm plastic bags containing 30.6 L of agricultural soil (23 % initial moisture, 56.5 % total porosity, 10.2 % available water retention capacity and 89.7 % aeration porosity). Plants were placed in the center of the bags and treatments were applied around the root ball. Hydrated phenolic foam was deposited so as to have the largest possible contact surface with the root ball.

de agua sobre la supervivencia, crecimiento en altura y diámetro, y biomasa de plantas de *P. leiophylla* al momento del trasplante en condiciones de sequía simulada en invernadero.

## Materiales y métodos

### Diseño experimental

El ensayo se estableció en el invernadero del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, ubicado en las coordenadas 20° 3' 36.44" N y 98° 22' 53.26" O. La planta de *P. leiophylla*, de un año de edad, se produjo en sistema tecnificado en charola de unicel de 77 cavidades y de 170 cc por cavidad. El sustrato utilizado fue *peat moss*, agrolita y vermiculita en relación 3:1:1, con 6 g de fertilizante de liberación lenta (ocho meses) de la marca Osmocote por cada litro de mezcla. Se seleccionaron plantas similares en altura (25 a 30 cm de altura) y diámetro en la base (3.5 mm), libres de enfermedades, con ¾ partes del tallo lignificado y con fascículos y acículas completamente desarrollados. Los tratamientos aplicados al momento del trasplante se describen en el Cuadro 1.

Los individuos se trasplantaron a bolsas de plástico de 40 x 40 x 40 cm que contenían 30.6 L de tierra agrícola (23 % de humedad inicial, porosidad total de 56.5 %, capacidad de retención de agua disponible de 10.2 %

**Table 1. Water reservoir treatments applied at transplanting of *Pinus leiophylla* in a greenhouse.**

**Cuadro 1. Tratamientos de reservorios de agua, aplicados al momento de trasplante de *Pinus leiophylla* en invernadero.**

Treatment/ Tratamiento	Description/Descripción	Placement/Colocación
T1	Control. No phenolic foam blocks/ Testigo. Sin bloques de espuma fenólica	The plant was placed in a traditional way/ La planta se colocó de manera tradicional
T2	Hydrated phenolic foam block of 3.3 x 7 x 10 cm and 231 cc dry volume/ Bloque de espuma fenólica hidratada de 3.3 x 7 x 10 cm y 231 cc de volumen seco	The block was placed on one side of the plant root ball, at a depth of 7 cm below the surface/ El bloque se colocó a un costado del cepellón de la planta, a una profundidad de 7 cm por debajo de la superficie
T3	Hydrated phenolic foam block of 4.4 x 7 x 10 cm and 308 cc dry volume/ Bloque de espuma fenólica hidratada de 4.4 x 7 x 10 cm y 308 cc de volumen seco	The block was placed on one side of the plant root ball, at a depth of 7 cm below the surface/ El bloque se colocó al costado del cepellón de la planta, a una profundidad de 7 cm por debajo de la superficie
T4	3 g of hydrated hydrogel/ 3 g de hidrogel hidratado	The hydrogel was dispersed around the root ball, at a depth of 5-7 cm/ El hidrogel se dispersó alrededor del cepellón, a una profundidad de 5 a 7 cm

Subsequently, the filling of the pots was concluded and the soil was compacted slightly, removing lumps and large stones. The pots were placed in a plastic-covered 10 x 30 m greenhouse with an internal temperature ranging from 10 °C in the coldest time to 38 °C in the hottest time in November 2013. The pots were arranged in accordance with a completely randomized experimental design. Each treatment was formed by three replicates of 20 plants, resulting in a total of 60 individuals per treatment and 240 plants in the experiment. No water was added during the evaluation period, in order to assess the moisture contribution from the phenolic foams to the plant and evaluate survival and other variables under study.

### Variables and analyses

The variables studied were survival, growth in height and diameter and increase in shoot and root biomass of the plant. Survival was evaluated visually each week for three months. The individual plant was considered dead when it lost turgor in the apical bud, the characteristic color of the species changed and it showed signs of wilting in the leaves, according to the methodology proposed by Barchuk and Díaz (2000). The increase in height was measured with a measuring tape (Trooper, Mexico) and that of diameter with a digital Vernier caliper (0.001 mm accuracy, Trooper, Mexico). Biomass was assessed using the methodology proposed by Schlegel, Gayoso, and Guerra (2000), which is to obtain, separately, the dry weight of the shoot and root of the plants that were dying in the course of the experiment; subsequently, the values were summed to obtain the total biomass.

Survival was analyzed using the Kaplan-Meier estimator (Sigala, González, & Jiménez, 2015), while height and diameter data were subjected to an analysis of covariance, using the individual value of initial height as a covariate (Palacios et al., 2015). The shoot, root and total biomass data were subjected to traditional analysis of variance. Variables that showed statistically significant differences ( $P \leq 0.05$ ) were subjected to Tukey's range test

## Results and discussion

### Survival of *P. leiophylla*

Survival analysis, using the Kaplan-Meier estimator, showed a highly significant difference between control and the other treatments ( $P = 0.000008$ ) (Figure 1). These results are similar to those reported by Agaba et al. (2010) and Oriquiriza et al. (2013), who added hydrogel as a water reservoir in other tree species and concluded that the survival time increased. Table 2 shows a comparison between these studies.

porosidad de aireación de 89.7%). Las plantas se colocaron en el centro de las bolsas y los tratamientos se aplicaron alrededor del cepellón. La espuma fenólica hidratada se depositó de tal manera que tuviera la mayor superficie de contacto posible con el cepellón. Posteriormente, el llenado de las macetas se concluyó y la tierra se compactó ligeramente, eliminando terrones y piedras grandes. Las macetas se colocaron en un invernadero de 10 x 30 m de cubierta plástica con una temperatura interna que variaba de 10 °C en el momento más frío a 38 °C en el momento más caluroso, en el mes de noviembre del 2013. Las macetas se acomodaron de acuerdo con un diseño experimental completamente al azar. Cada tratamiento se formó por tres repeticiones de 20 plantas, obteniendo un total de 60 individuos por tratamiento y 240 plantas en el experimento. No se agregó agua durante el periodo de evaluación, con la finalidad de evaluar el aporte de humedad de las espumas fenólicas a la planta y valorar la supervivencia y demás variables en estudio.

### Variables y análisis realizados

Las variables estudiadas fueron supervivencia, crecimiento en altura y diámetro e incremento en biomasa aérea y radical de la planta. La supervivencia se evaluó cada semana durante tres meses de manera visual. El individuo se consideró planta muerta cuando perdió la turgencia en la yema apical, cambió la coloración característica de la especie y presentó signos de marchitez en las hojas, de acuerdo con la metodología propuesta por Barchuk y Díaz (2000). El incremento en altura se midió con un flexómetro (Truper, México) y el del diámetro con un vernier digital (0.001 mm de precisión, Truper, México). La biomasa se evaluó con la metodología propuesta por Schlegel, Gayoso, y Guerra (2000), que consiste en obtener, por separado, el peso seco de la parte aérea y radical de las plantas que fueron muriendo en el transcurso del experimento; posteriormente, los valores se sumaron para obtener la biomasa total.

La supervivencia se analizó usando el estimador Kaplan-Meier (Sigala, González, & Jiménez, 2015), mientras que los datos de altura y diámetro se sometieron a un análisis de covarianza, utilizando el valor individual de altura inicial como covariable (Palacios et al., 2015). Los datos de biomasa aérea, radical y total se sometieron a un análisis de varianza tradicional. Las variables que presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) se sometieron a la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey.

## Resultados y discusión

### Supervivencia de *P. leiophylla*

El análisis de supervivencia, usando el estimador Kaplan-Meier, mostró una diferencia altamente

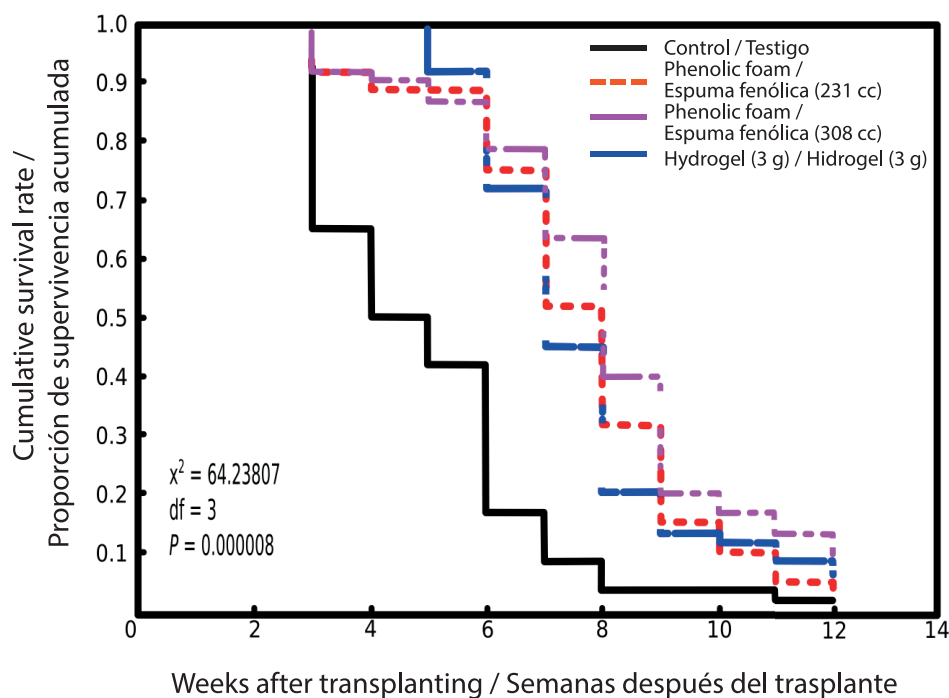


Figure 1. Survival of *Pinus leiophylla* plants with different water reservoir treatments.

Figura 1. Supervivencia de plantas de *Pinus leiophylla* con distintos tratamientos de reservorios de agua.

Table 2. Survival of different tree species by applying water reservoirs at transplanting.

Cuadro 2. Supervivencia de distintas especies arbóreas al aplicar reservorios de agua al momento del trasplante.

Authors / Autores	Species studied / Especie estudiada	Days of survival / Días de supervivencia		
		Control / Testigo	Hydrogel / Hidrogel	Phenolic foam / Espuma fenólica
Agaba et al. (2010)	<i>Eucalyptus grandis</i> W. Mill ex Maiden	24	40	-
	<i>Grevillea robusta</i> A. Cunn. ex R. Br.	27	74	-
	<i>Maesopsis eminii</i> Engl.	21	91	-
	<i>Melia volkensii</i> Gürke	50	90	-
	<i>Pinus caribaea</i> Morelet	32	59	-
	<i>Terminalia superba</i> Engl. & Diels	21	76	-
	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	23	65	-
	<i>Araucaria cunninghamii</i> Aiton ex D. Don	84	145	-
	<i>E. citriodora</i> Hook.	42	50	-
Orikiriza et al. (2013)	<i>P. sylvestris</i> L.	34	51	-
	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.	32	40	-
	<i>Fagus sylvatica</i> L.	30	33	-
Present study / Presente estudio	<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	35	56	56

Figure 2 shows the survival rate of *P. leiophylla* under various treatments over a 12-week period. The figure shows that all the plants (100 %) of the four treatments survived during the first three weeks, so that errors during transplanting can be discarded. From the fourth week, plant survival decreased by 23 % in the control treatment and by 8 % in the phenolic foam treatments, while the treatment with hydrogel maintained 100 % of the plants until the fifth week. In this week, plant survival in the control treatment was 50 %, while the other groups recorded a rapid decline in the survival curve after the sixth week.

At two months after the start of the experiment, the control was statistically different ( $P = 0.000008$ ) from the other treatments by having only 8 % survival, while the hydrogel had 45 % and the 231-cc and 308-cc phenolic foam treatments had 52 and 62 %, respectively (Table 3).

significativa entre el testigo y los otros tratamientos ( $P = 0.000008$ ) (Figura 1). Estos resultados son similares a los reportados por Agaba et al. (2010) y Orikiriza et al. (2013), quienes adicionaron hidrogel como reservorio de agua en otras especies arbóreas y concluyeron que el tiempo de supervivencia incrementó. El Cuadro 2 muestra una comparación entre dichos estudios.

La Figura 2 presenta la supervivencia de *P. leiophylla* bajo distintos tratamientos en un periodo de 12 semanas. En la figura se aprecia que todas las plantas (100 %) de los cuatro tratamientos supervivieron durante las primeras tres semanas, por lo que se pueden descartar errores durante el trasplante. A partir de la cuarta semana, la supervivencia de las plantas en el tratamiento testigo disminuyó 23 %, en los tratamientos de espuma fenólica disminuyó 8 %, mientras que el tratamiento

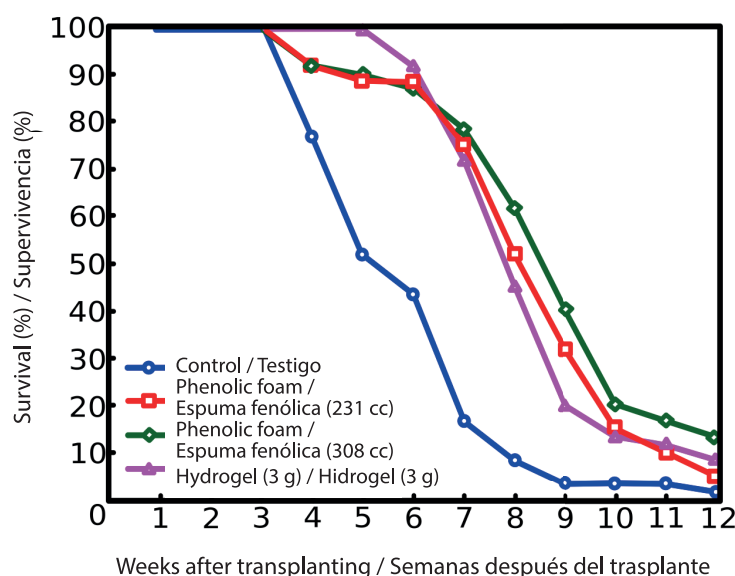


Figure 2. Survival of *Pinus leiophylla* plants with different water reservoir treatments.

Figura 2. Supervivencia de plantas de *Pinus leiophylla* con distintos tratamientos de reservorios de agua.

Table 3. Weekly survival of *Pinus leiophylla* under different water reservoir treatments.

Cuadro 3. Supervivencia semanal de *Pinus leiophylla* bajo distintos tratamientos de reservorios de agua.

Treatment / Tratamiento	Weekly survival (%) / Supervivencia semanal (%)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Control / Testigo	100.0 a	100.0 a	100.0 a	76.7 a	51.7 b	43.3 b	19.7 b	8.3 b	3.3 a	3.3 a	3.3 a	1.7 a
Phenolic foam (231 cc) / Espuma fenólica (231 cc)	100.0 a	100.0 a	100.0 a	92.0 a	88.0 a	88.0 a	75.0 a	52.0 a	32.0 a	15.0 a	10.0 a	5.0 a
Phenolic foam (308 cc) / Espuma fenólica (308 cc)	100.0 a	100.0 a	100.0 a	92.0 a	90.0 a	87.0 a	78.0 a	62.0 a	40.0 a	20.0 a	17.0 a	13.0 a
Hydrated hydrogel (3 g) / Hidrogel hidratado (3 g)	100.0 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a	91.7 a	45.0 a	45.0 a	20.0 a	13.3 a	11.6 a	8.3 a

\*Values in the same column followed by a different letter indicate statistically significant differences according to the Kaplan-Meier estimator ( $P = 0.000008$ ).

\*Valores en la misma columna seguidos con letra diferente indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo con el estimador Kaplan-Meier ( $P = 0.000008$ ).

Survival time was extended 30 days by using a 308-c hydrated phenolic foam block. In an open field planting, there is a possibility of rain in that period, so that the plant recovers turgidity and the phenolic foam block is hydrated again. Al-Humaid and Mofteh (2007) also reported that adding hydrogel increased survival to two months in *Conocarpus erectus* L. individuals. In the present study, the 308-c phenolic foam kept 62 % of the *P. leiophylla* plants alive until 60 days after transplantation, while the hydrogel maintained 45 %; therefore, phenolic foam is another option to mitigate the effects of prolonged drought in the first months after transplantation.

Survival times are similar to those reported by Agaba et al. (2010) and Orikiran et al. (2013) in other tree species (Table 2). It should be noted that they watered plants to field capacity before subjecting them to drought conditions and they applied irrigation to ensure establishment. Another study by da Silva et al. (2012) of the phenolic foam block is increased, survival in hybrid seedlings of *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake and *E. resinifera* Sm. also increases. This is consistent with what was found in this study, since the 308-cc phenolic foam treatment showed 10 % more survival more than the 231-cc one.

#### Increase in height, diameter and biomass of *Pinus leiophylla*

The analysis of covariance showed no significant differences among treatments with respect to the increase in height at eight ( $P = 0.250$ ) and 12 weeks ( $P = 0.135$ ) (Table 4). Chirino, Vilagrosa, and Vallejo (2011) and Maldonado-Benitez, Aldrete, López-Upton, Vaquera-Huerta, and Cetina-Alcalá (2011) reported similar results and attributed them to drought conditions. Evaluation was made at week eight, because most of the plants of the different treatments maintained around 50 % survival, and at week 12, because almost all of the plants had died.

con hidrogel mantuvo 100 % de las plantas hasta la quinta semana. En esta misma semana, la supervivencia del testigo fue 50 %, mientras que el resto de los grupos registró un descenso rápido en la curva de supervivencia, después de la sexta semana.

A los dos meses del inicio del experimento, el testigo fue estadísticamente diferente ( $P = 0.000008$ ) con el resto de los tratamientos al tener sólo 8 % de supervivencia, mientras que el hidrogel tenía 45 % y los tratamientos con espuma fenólica de 231 cc y 308 cc tenían 52 y 62 % de supervivencia, respectivamente (Cuadro 3).

El tiempo de supervivencia se prolonga 30 días al colocar un bloque de espuma fenólica hidratada de 308 cc de volumen. En una plantación a cielo abierto existe la posibilidad de que en dicho periodo llueva, de tal forma que la planta recupere la turgencia y el bloque de espuma fenólica se hidrate nuevamente. Al-Humaid y Mofteh (2007) también reportaron que la adición de hidrogel incrementó la supervivencia hasta dos meses en individuos de *Conocarpus erectus* L. En el presente estudio, la espuma fenólica de 308 cc mantuvo 62 % de las plantas de *P. leiophylla* vivas hasta por 60 días después del trasplante, mientras que el hidrogel mantuvo 45 %; por tanto, la espuma es una opción más para mitigar los efectos de las sequías prolongadas en los primeros meses después del trasplante.

Los tiempos de supervivencia son similares a los reportados por Agaba et al. (2010) y Orikiran et al. (2013) en otras especies arbóreas (Cuadro 2). Cabe aclarar que ellos regaron las plantas a capacidad de campo antes de someterlas a condiciones de sequía y aplicaron riegos para asegurar el establecimiento. Otro estudio realizado por da Silva et al. (2012) confirma que si el tamaño del bloque de espuma fenólica incrementa, la supervivencia en plántulas de híbridos de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake y *E. resinifera* Sm. también aumenta.

**Table 4. Analysis of covariance for the variables height and diameter with water reservoir treatments in *Pinus leiophylla*.**

**Cuadro 4. Análisis de covarianza para las variables altura y diámetro con tratamientos de reservorios de agua en *Pinus leiophylla*.**

Variable	Week after transplanting/ Semana después de trasplante	Mean squares/Cuadrados medios		Pr > F
		Treatment (3) <sup>*</sup> / Tratamiento (3) <sup>*</sup>	Error (235) <sup>*</sup>	
Height/Altura	8	7.77	5.63	0.250
Height/Altura	12	10.44	5.58	0.135
Diameter/Diámetro	8	1.68	0.45	0.013
Diameter/Diámetro	12	2.33	0.46	0.002

<sup>\*</sup>Degrees of freedom for each source of variation are shown in parentheses.

<sup>\*</sup>En paréntesis se presentan los grados de libertad correspondientes a cada fuente de variación.

Regarding diameter, the analysis of covariance showed significant differences among treatments at eight ( $P = 0.013$ ) and 12 weeks ( $P = 0.002$ ). Table 5 shows the diameter growth of *P. leiophylla* plants under the four evaluated treatments. The control treatment had the smallest diameter (3.9 mm), while the increase of this variable in the phenolic foam and hydrogel treatments was similar. These results agree with those reported by De la O-Quezada, Ojeda-Barrios, Hernández-Rodríguez, Sánchez-Chávez, and Martínez-Tellez (2011), who indicate that, under water stress conditions, walnut seedlings are mainly affected in increase of diameter.

Table 6 shows the analysis of variance of the shoot, root and total biomass with statistically significant differences ( $P \leq 0.05$ ) among the treatments. On the other hand, Figure 3 shows a graphical comparison of the biomass of *P. leiophylla* under the different treatments. The control treatment had the highest root biomass (0.99 g). In total biomass, the difference between the extreme values was 0.78 g, corresponding to the control and hydrogel treatments. In plants with phenolic foam, part of the roots was lost when removing the root system, because they went through the foam and it was impossible to separate them from it, an error that was not considered in the weighing. It is also important to mention that, according to Cornejo and Emmingham (2003), the results can be attributed to the fact that the evaluations were conducted during the cold season and in a short period (12 weeks), as the increase in biomass during the cold season under greenhouse conditions is not affected by water stress.

Esto concuerda con lo encontrado en el presente estudio, ya que el tratamiento de espuma fenólica de 308 cc presentó 10 % más de supervivencia que el de 231 cc.

#### Incremento en altura, diámetro y biomasa de *Pinus leiophylla*

El análisis de covarianza mostró que no existen diferencias significativas entre los tratamientos respecto al incremento en altura a las ocho ( $P = 0.250$ ) y 12 semanas ( $P = 0.135$ ) (Cuadro 4). Chirino, Vilagrosa, y Vallejo (2011) reportaron resultados similares y los atribuyeron a las condiciones de sequía. La evaluación se hizo en la semana ocho, debido a que la mayoría de las plantas de los distintos tratamientos mantuvieron alrededor de 50 % de supervivencia, y en la semana 12, porque casi el total de las plantas habían muerto.

Respecto al diámetro, el análisis de covarianza mostró diferencias significativas entre los tratamientos a las ocho ( $P = 0.013$ ) y 12 semanas ( $P = 0.002$ ). El Cuadro 5 muestra el crecimiento en el diámetro de las plantas de *P. leiophylla* bajo los cuatro tratamientos de evaluación. El tratamiento testigo tuvo el menor diámetro (3.9 mm), mientras que el incremento de esta variable en los tratamientos de espuma fenólica e hidrogel fue similar. Estos resultados concuerdan con lo reportado por De la O-Quezada, Ojeda-Barrios, Hernández-Rodríguez, Sánchez-Chávez, y Martínez-Tellez (2011), quienes indican que, en condiciones de estrés hídrico, las plántulas de nogal se ven afectadas principalmente en el incremento del diámetro.

**Table 5. Variation in diameter of *Pinus leiophylla* in different weeks of evaluation.**

**Cuadro 5. Variación en diámetro de *Pinus leiophylla* en diferentes semanas de evaluación.**

Treatment/Tratamiento	Average diameter in week 8 (mm)/ Diámetro medio en la semana 8 (mm)	Average diameter in week 12 (mm)/ Diámetro medio en la semana 12 (mm)
Control/Testigo	3.92 b	3.96 b
Phenolic foam (231 cc)/ Espuma fenólica (231 cc)	4.21 a	4.31 a
Phenolic foam (308 cc)/ Espuma fenólica (308 cc)	4.04 a	4.20 a
Hydrated hydrogel (3 g)/ Hidrogel hidratado (3 g)	4.29 a	4.44 a

Values in the same column followed by a different letter indicate statistically significant differences according to the Tukey test ( $P \leq 0.05$ ).

Valores en la misma columna seguidos con letra diferente indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



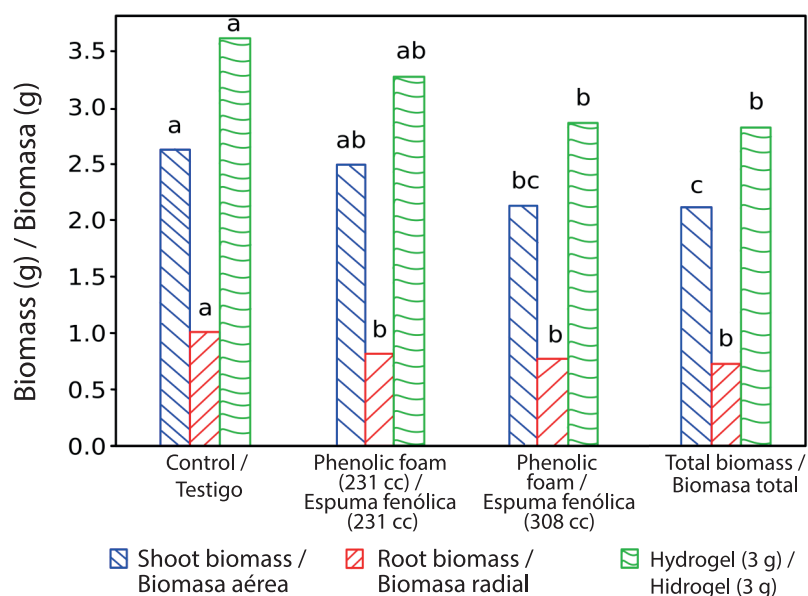
**Table 6. Analysis of variance for the variables root, shoot and total biomass of *Pinus leiophylla* with water reservoir treatments.**

**Cuadro 6. Análisis de varianza para las variables biomasa radicular, aérea y total de *Pinus leiophylla* con tratamientos de reservorios de agua.**

Variable	Mean squares / Cuadrados medios		Pr > F
	Treatment (3)* / Tratamiento (3)*	Error (236)*	
Root biomass / Biomasa radicular	0.857	0.100	0.0001
Shoot biomass / Biomasa aérea	3.954	0.625	0.0004
Total biomass / Biomasa total	8.035	1.016	0.0001

\*Degrees of freedom for each source of variation are shown in parentheses.

\*En paréntesis se muestran los grados de libertad correspondientes a cada fuente de variación.



**Figure 3. Biomass of *P. leiophylla* under different water reservoir treatments. Bars with the same pattern and a different letter indicate statistically significant differences according to the Tukey test ( $P \leq 0.05$ ).**

**Figura 3. Biomasa de plantas de *P. leiophylla* bajo distintos tratamientos de reservorios de agua. Barras con misma trama y letra diferente indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).**

## Conclusions

Adding hydrated open-cell phenolic foam, at the time of transplanting *P. leiophylla* plants, significantly increased survival time under simulated drought conditions in a greenhouse to 63 days, compared to 35 days for the control and 49 days for the hydrated hydrogel treatment. A significant increase in diameter of up to 0.35 mm relative to the control was also observed; differences in the variable height were negligible. This

El Cuadro 6 muestra el análisis de varianza de la biomasa aérea, radical y total con diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos. Por otra parte, la Figura 3 presenta una comparación gráfica de la biomasa de *P. leiophylla* bajo los distintos tratamientos. El tratamiento testigo tuvo la mayor biomasa radical (0.99 g). En la biomasa total, la diferencia entre los valores extremos fue de 0.78 g, que corresponden a los tratamientos testigo y con hidrogel. En las plantas con espuma fenólica se perdió parte de las raíces al

type of study provides guidelines for further research and possible application of a new water reservoir system under conditions different from those of a greenhouse to help mitigate the effects of drought, increase survival and improve the establishment of pine plants.

#### End of English version

#### References / Referencias

- Agaba, H., Baguma, O. L. J., Osoto, E. J. F., Obua, J., Kabasa, J. D., & Hüttermann, A. (2010). Effects of hydrogel amendment to different soils on plant available water and survival of trees under drought conditions. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 38(4), 328–335. doi: 10.1002/clen.200900245 10.1002/clen.200900245
- Ahmed, E. M. (2013). Hydrogel: Preparation, characterization, and applications. *Journal of Advanced Research*, 6(2), 105–121. doi: 10.1016/j.jare.2013.07.006
- Akhter, J., Mahmood, K., Malik, K. A., Mardan, A., Ahmad, M., & Iqbal, M. M. (2004). Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. *Plant Soil Environment*, 50(10), 463–469. Retrieved from <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/52788.pdf>
- Al-Humaid, A. I., & Moftah, A. E. (2007). Effects of hydrophilic polymer on the survival of buttonwood seedlings grown under drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 30(1), 53–66. doi: 10.1080/01904160601054973
- Barchuk, A. H., & Díaz, M. P. (2000). Vigor de crecimiento y supervivencia de plantaciones de *Aspidosperma quebracho-blanco* y de *Prosopis chilensis* en el Chaco árido. *Quebracho*, 8, 17–29. Retrieved from [http://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/q8\\_02-Barchuk.pdf](http://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/q8_02-Barchuk.pdf)
- Barón, C. A., Barrera, R. I. X., Boada, E. L. F., & Rodríguez, N. G. (2007). Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 35–44. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64327305>
- Bezerra, N. E., Santos, R., Pessoa, P., Andrade, P., Oliveira, S., & Mendonça, I. (2010). Tratamento de espuma fenólica para produção de mudas de alface. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 5(3), 418–422. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119016971022>
- 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
- Chugh, S., Guha, S., & Rao, I. U. (2009). Micropropagation of orchids: A review on the potential of different explants. *Scientia Horticulturae*, 122(4), 507–520. doi: 10.1016/j.scienta.2009.07.016
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Colegio de Postgraduados (COLPOS), & Secretaría de Medio

momento de extraer el sistema radical, debido a que éstas atravesaron la espuma y fue imposible separarlas de ella, error que no se consideró en el pesado. También es importante mencionar que, de acuerdo con Cornejo y Emmingham (2003), los resultados pueden atribuirse a que las evaluaciones se realizaron durante la estación fría y en un periodo corto (12 semanas), pues el incremento en biomasa durante la estación fría en condiciones de invernadero no se ve influenciado por el estrés hídrico.

#### Conclusiones

La adición de espuma fenólica de célula abierta hidratada, al momento del trasplante de plantas de *P. leiophylla*, incrementó significativamente el tiempo de supervivencia en condiciones de sequía simulada en invernadero hasta 63 días respecto al testigo (35 días) y plantas con hidrogel hidratado (49 días). También se apreció un incremento significativo en el diámetro de hasta 0.35 mm con respecto al testigo; las diferencias en la variable altura fueron nulas. Este tipo de estudios da la pauta para continuar la investigación y posible aplicación de un nuevo reservorio de agua en condiciones diferentes a las de invernadero que ayude a mitigar los efectos de la sequía, aumentar la supervivencia y mejorar el establecimiento de plantas de pino.

#### Fin de la versión en español

- Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2008). Reforestación. Evaluación externa ejercicio fiscal 2007. Retrieved from [http://www.era-mx.org/biblio/Evaluacion\\_Colpos\\_Reforestacion\\_2007.pdf](http://www.era-mx.org/biblio/Evaluacion_Colpos_Reforestacion_2007.pdf)
- Cornejo, O. D. H., & Emmingham, W. (2003). Effects of water stress on seedling growth, water potential and stomatal conductance of four *Pinus* species. *Crop Research & Research on crops*, 25(1), 159–190. Retrieved from <http://cropresearch.org/volume-25-number-1-january-2003/>
- da Silva, M. P. H., Kager, D., de Moraes, G. J. L., & Gonçalves, A. N. (2012). Produção de mudas clonais de eucalipto em espuma fenólica: crescimento inicial e mortalidade. *CERNE*, 18(4), 639–649. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74424807014>
- De la O-Quezada, G. A., Ojeda-Barrios, D. L., Hernández-Rodríguez, O. A., Sánchez-Chávez, E., & Martínez-Tellez, J. (2011). Biomasa, prolina y parámetros nitrogenados en plántulas de nogal bajo estrés hídrico y fertilización nitrogenada. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(1), 13–18. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1027-152X2011000400003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2011000400003)
- Farrell, C., Ang, X. Q., & Rayner, J. P. (2013). Water-retention additives increase plant available water in green roof

- substrates. *Ecological Engineering*, 52, 112–118. doi: 10.1016/j.ecoleng.2012.12.098
- Gardziella, A., Pilato, L. A., & Knop, A. (2000). *Phenolic resins: Chemistry, applications, standardization, safety and ecology*. New York, USA: Springer.
- Hanjra, M. A., & Qureshi, M. E. (2010). Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy*, 35(5), 365–377. doi: 10.1016/j.foodpol.2010.05.006
- Maldonado-Benitez, K., Aldrete, A., López-Upton, J., Vaquera-Huerta, H., & Cetina-Alcalá, V. M. (2011). Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego en vivero. *Agrociencia*, 45(3), 389–398. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n3/v45n3a11.pdf>
- Musálem, M. Á., & Martínez, G. S. (2003). *Monografía de Pinus leiophylla*. Chapingo, México: Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/1817>
- Orikiriza, 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*, 04(07), 713–721. doi: 10.4236/jep.2013.47082
- Palacios, R. A., Rodríguez, L. R., Prieto, G. F., Meza, R. J., Razo, Z. R., & Hernández, F. M. L. (2015). Supervivencia de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham. en campo mediante la aplicación de espuma fenólica hidratada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(32), 83–92. Retrieved from <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/Forestales/article/view/4127/3477>
- Schlegel, B., Gayoso, J., & Guerra, J. (2000). Manual de procedimientos. Muestreos de biomasa forestal. Retrieved from [http://www.uach.cl/procarbono/pdf/manuales/guia\\_destructivo.pdf](http://www.uach.cl/procarbono/pdf/manuales/guia_destructivo.pdf)
- Sigala, R. J. Á., González, T. M. A., & Jiménez, P. J. (2015). Análisis de supervivencia para una reforestación con *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el sur de Nuevo León. *Ciencia UANL*, 18(75), 61–66. Retrieved from <http://cienciauanl.uanl.mx/wp-content/uploads/2015/10/art-del-pino.pdf>
- Velázquez, A., Durán, E., Mas, J. F., Bray, D., & Bocco, G. (2005). Situación actual y prospectiva del cambio de la cubierta vegetal y usos del suelo en México. In Consejo Nacional de Población (CONAPO) (Ed.), *México ante los desafíos de desarrollo del milenio* (pp. 391–412). México: CONAPO.