



Espuma fenólica de célula abierta hidratada como medio para **mitigar estrés hídrico** en plántulas de *Pinus leiophylla*

Hidratated open cell phenolic foam as a mean to mitigate water stress in *Pinus leiophylla* seedlings

Abraham Palacios-Romero¹, Rodrigo Rodríguez-Laguna^{2*}, Ramón Razo-Zárate², Joel Meza-Rangel²,
Francisco Prieto-García¹ y M. de la Luz Hernández-Flores¹

¹ Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad del Conocimiento. Mineral de la Reforma, Hidalgo. México.

² Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Tulancingo, Hidalgo. México.

* Autor de correspondencia. rodris71@yahoo.com

RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo determinar el efecto de la espuma fenólica de célula abierta como mecanismo para mitigar el estrés hídrico en plantas de *Pinus leiophylla* en condiciones de invernadero. Se estableció un ensayo en el que se aplicaron cuatro tratamientos con diferente volumen de espuma fenólica como sustrato y un testigo. Se evaluó semanalmente supervivencia, crecimiento en altura, diámetro e incremento en biomasa. Se encontraron diferencias significativas en el tiempo de supervivencia entre los tratamientos; la supervivencia de 50% de los individuos se incrementó en hasta seis y siete semanas más al utilizar espuma fenólica hidratada de 462 cm³ y 616 cm³, respectivamente, con respecto al testigo. En cuanto a crecimiento en altura y diámetro, el testigo nuevamente presentó el menor crecimiento en altura y diámetro (29.5 cm y 4.1 mm, respectivamente) con respecto al resto de los tratamientos, mientras que las plantas con espuma de 462 cm³ presentaron el mayor crecimiento en altura y diámetro (33.5 cm y 5.1 mm, respectivamente). Para el caso de biomasa, las plantas con espuma de 308 cm³ presentaron el menor valor con respecto a aquellas con espuma de 616 cm³ y testigo. Estos resultados sugieren que la espuma fenólica es un buen mitigador de los efectos del estrés hídrico, ya que prolongan el tiempo de supervivencia de las plantas en hasta siete semanas y mejoran el crecimiento en altura y diámetro al compararlo con el testigo.

PALABRAS CLAVE: crecimiento, reforestación, reservorio de agua, sequía, supervivencia.

ABSTRACT

This study aimed to determine the effect of open cell phenolic foam as a mechanism to mitigate water stress in *Pinus leiophylla* seedlings under greenhouse conditions. A test procedure was established, in which plants produced with this system were used and four treatments of different phenolic foam volume and a control were applied. Survival, growth in height, diameter and increase in biomass were evaluated weekly. Significant differences were found in survival time between treatments; the time to 50% survival of individuals was increased up to six to seven weeks when phenolic foam hydrated 462 cm³ and 616 cm³ was applied compared with the control. As for growth in height and diameter, the control again had the lowest growth in height and diameter (29.5 cm and 4.1 mm, respectively) compared to other treatments, while plants with foam of 462 cm³ showed the highest growth in height and diameter (33.5 cm and 5.1 mm, respectively). In the case of biomass, plants with 308 cm³ foam showed the lowest value compared with those of foam of 616 cm³ and control. These results suggest that the phenolic foam is effective for mitigating the effects of water stress since seedling survival was increased up to seven weeks and growth in height and diameter was improved when compared with the control.

KEYWORDS: growth, reforestation, water reservoir, drought, survival.

INTRODUCCIÓN

El cambio de uso de suelo, la explosión demográfica, sequías extremas, la modificación de los patrones de lluvia, el calentamiento global y la deforestación han provocado que se pierdan alrededor de 5.2 millones de hectáreas anuales de bosques y selvas (Lloret, Escudero, Iriondo, Martínez-Vilalta y Valladares, 2012). La disminución de las zonas forestales está generando pérdida y fragmentación de ecosistemas, modificando con ello los ciclos hídricos, regímenes de temperatura y precipitación. Esto reduce las tasas de captura de carbono y, en última instancia, favorece a los efectos del cambio climático (López, 2012).

En México para subsanar la pérdida de alrededor de 155 mil hectáreas anuales de bosques y selvas, se han creado programas anuales de reforestación. Desafortunadamente, para cada año se registran porcentajes de supervivencia inferiores a 60% para dichos programas. De acuerdo con distintas instituciones encargadas de evaluar el éxito de estos programas (Colegio de Postgraduados, 2008; Universidad Autónoma de Chapingo, 2009; Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, 2012), la baja supervivencia se atribuye principalmente al efecto de la sequías prolongadas y a la mala elección de fechas de plantación.

Las plantas que son depositadas en el lugar definitivo por el hombre tienen la desventaja de que su sistema radical se encuentra limitado al volumen del cepellón. La mala elección en la fecha de plantación, trae como consecuencia estrés hídrico en las plantas debido a la falta de disponibilidad de agua en el suelo, que se expresa en la reducción del crecimiento y desarrollo, mientras que en la parte interna de la planta ocurren diversos fenómenos fisiológicos como es la pérdida de turgencia celular, la reducción de la tasa de expansión celular, disminución de la síntesis de pared celular, reducción de síntesis de proteínas (Ortiz, 2006).

Todos estos cambios ocurren mientras el déficit hídrico no es tan severo. Sin embargo, conforme el contenido hídrico en las plantas disminuye, se afectan otros mecanismos y se generan respuestas como aumentar los niveles de ácido abscísico y cuando el estrés es extremo, se

producen cavitaciones en los elementos del xilema, pérdida del follaje, marchitez y finalmente la muerte (Ortiz, 2006).

Para prevenir esta situación, las plantas han desarrollado diferentes respuestas, mecanismos y adaptaciones que les permiten resistir y sobrevivir a condiciones de déficit hídrico (Nilsen y Orcutt 1996). Algunos de estos mecanismos son: reducción del tamaño de la hoja, una densa pubescencia foliar, estomas altamente desarrollados, acumulación de mucílago y otros metabolitos (Bosabalidis y Kofidis, 2002).

En la actualidad es necesario desarrollar tecnologías que ayuden a las plantas en los primeros años después de plantadas en campo en programas de reforestación para disminuir el estrés hídrico provocado por las condiciones climáticas adversas. Para esto, se propone el uso de espuma fenólica de célula abierta (esponja floral), que es un material con alta capacidad de absorción de agua (Gardziella, Pilato y Knop, 2000). Este tipo de material es usado en gran variedad de aplicaciones como la industria florística e hidroponía (Espinoza, 2010; Bezerra *et al.* 2010).

Pinus leiophylla Schl. & Cham es una de las especies de mayor distribución en todo el país, encontrándose entre 1130 m y 2800 m snm (Santillán, 1991). Se considera especie pionera, ya que es capaz de establecerse en suelos pobres y cubiertos de lava volcánica. Tiende a asociarse con otras especies arbóreas. Su intervalo altitudinal es también apto para el establecimiento de cultivos de gramíneas (Eguiluz, 1978); su madera es valorada para elaborar pilotes y durmientes para vías del tren, postes, muebles, pasta de celulosa y es fuente de leña y carbón vegetal para las comunidades e industrias rurales. Por esta razón, la especie está siendo sometido a una tala inmoderada, reduciendo drásticamente su población en ciertas zonas (Musálem y García, 2003). A pesar de esto, se espera que debido al cambio climático, el área de distribución de esta especie se incremente en 35.5% (Arriaga y Gómez, 2004).

OBJETIVO

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de la espuma fenólica de célula abierta como mecanismo para



mitigar el estrés hídrico mediante la evaluación de supervivencia, incremento en altura, diámetro y biomasa en plantas de *Pinus leiophylla* en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del experimento

Se estableció el ensayo en instalaciones del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), ubicado en las coordenadas: 20° 3' 36.44" latitud Norte y 98° 22' 53.26" longitud Oeste, a una altitud de 2165 m snm. La región presenta un clima de tipo BS1k, semiseco templado con lluvias en verano, con una precipitación promedio anual de 500 mm a 553 mm y una temperatura media de 14 °C.

La planta utilizada fue donada por el vivero Universitario de la UAEH. Contaba con un año de edad, producida en sistema tecnificado en charola de poliestireno de 77 cavidades y con 170 cm³ por cavidad. El sustrato fue *peat moss*, agrolita y vermiculita en relación 3:1:1, con seis gramos de fertilizante de liberación lenta (18-6-12)

por cada litro de mezcla. Tenía en promedio 25 cm de altura y 3.5 mm de diámetro en la base. Se seleccionaron plantas libres de enfermedades, con $\frac{3}{4}$ partes del tallo lignificado, con acículas y fascículos completamente desarrollados.

En noviembre de 2012, las plantas fueron trasplantadas a bolsas de plástico negro de 40 cm × 40 cm, con fuelle, sin orificios y se llenaron de tierra agrícola (23% de humedad inicial) hasta la mitad, después las plantas fueron depositadas al centro de las bolsas y se colocaron los bloques de espuma fenólica hidratada de manera que tuvieran la mayor superficie de contacto con el cepellón. Posteriormente se procedió a llenar las bolsas hasta el cuello de la planta y se compactó suavemente con las manos.

Diseño experimental

Se aplicaron cinco tratamientos al momento del trasplante (Tabla 1); cada tratamiento estuvo formado por tres repeticiones de 20 plantas cada una, obteniendo un total de 60 individuos por tratamiento y 300 plantas en todo el experimento.

TABLA 1. Descripción de los tratamientos aplicados en el estudio.

| Tratamiento | Descripción | Colocación |
|-------------|--|--|
| T1 | Bloque de espuma fenólica hidratada de 3.3 cm × 7 cm × 10 cm y 231 cm ³ de volumen seco. Volumen de agua absorbida: 227.5 ml | El bloque se colocó a un costado del cepellón de la planta, a una profundidad de 7 cm por debajo de la superficie |
| T2 | Bloque de espuma fenólica hidratada de 4.4 cm × 7 cm × 10 cm y 308 cm ³ de volumen seco. Volumen de agua absorbida: 287 ml | El bloque se colocó a un costado del cepellón de la planta, a una profundidad de 7 cm por debajo de la superficie |
| T3 | Dos bloques de espuma fenólica hidratada de 3.3 cm × 7 cm × 10 cm y 462 cm ³ de volumen seco. Volumen de agua absorbida: 455.1 ml | Los bloques se colocaron a un costado del cepellón de la planta, a una profundidad de 7 cm por debajo de la superficie |
| T4 | Dos bloques de espuma fenólica de 4.4 cm × 7 cm × 10 cm y 616 cm ³ de volumen seco. Volumen de agua absorbida: 574 ml | Los bloques se colocaron a un costado del cepellón de la planta, a una profundidad de 7 cm por debajo de la superficie |
| T5 | Testigo. Sin bloques de espuma fenólica. | La planta se colocó de manera tradicional. |

Las bolsas con planta fueron colocadas dentro del invernadero y se situaron de acuerdo con un diseño experimental completamente al azar. Durante el experimento, las plantas no se regaron con la finalidad de notar el efecto de la espuma fenólica en la mitigación del estrés hídrico.

Variables evaluadas

Se evaluaron las variables: supervivencia, incremento en altura, diámetro en la base de la planta, biomasa aérea, radicular y total. Las evaluaciones se llevaron a cabo semanalmente; la supervivencia fue evaluada de manera visual de acuerdo con la metodología propuesta por Barchuk y Díaz (2000), la cual considera que las plantas están vivas mientras presenten el color, turgencia y vigor característicos de la especie. El incremento en altura fue medido con flexómetro (0.1 cm de resolución), mientras que el incremento en el diámetro se midió con vernier digital (0.01 mm de resolución). La biomasa se calculó de acuerdo con una variación de la metodología propuesta por Schlegel, Gayoso y Guerra, (2000): al momento de que un individuo fuera declarado muerto, se procedió a sacar de la bolsa y limpiar la raíz cuidando que no se perdieran partes de ella en el proceso, posteriormente se cortó la raíz a la altura del cuello, las partes aérea y radicular fueron deshidratadas completamente en una estufa de secado y pesadas en una báscula digital (0.01 g de resolución).

Análisis estadístico

Los datos de todos los individuos estudiados (datos de 300 ejemplares) fueron sometidos a los análisis estadísticos requeridos. Para la variable de supervivencia se utilizó el estimador Kaplan-Meier (Cruz, 2011), para determinar cuál tratamiento ayuda a conservar durante más tiempo la supervivencia en condiciones de sequía. Para el crecimiento en altura y diámetro, los datos se sometieron a un análisis de covarianza tradicional, utilizando el procedimiento de Anova con los valores de altura y diámetro iniciales como covariables. Con respecto a la variable de biomasa, el análisis realizado fue el de varianza tradicional.

En los casos en que se encontraron diferencias estadísticamente significativas para las variables crecimiento en

altura, diámetro y biomasa, ($P \leq 0.05$) se realizó una prueba de comparación múltiple de medias Tukey y para el caso de supervivencia se utilizó el análisis Log-Rank para determinar el mejor tratamiento.

RESULTADOS

Supervivencia

El análisis de supervivencia utilizando el estimador Kaplan-Meier muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.001$). Las plantas testigo perdieron 50% de sus individuos a las cuatro semanas de realizado el trasplante, mientras que las plantas con 462 cm³ y 616 cm³ de espuma fenólica lo hicieron hasta las 11 y 12 semanas, respectivamente. Las plantas con 231 cm³ y 308 cm³ de espuma fenólica alcanzaron esta proporción a las ocho y nueve semanas respectivamente (Fig. 1).

El análisis Log-Rank confirmó que el testigo fue el grupo que presentó el menor tiempo de supervivencia con respecto al resto de los tratamientos ($P < 0.05$); y que las plantas con 462 cm³ y 616 cm³ de espuma fenólica, son las

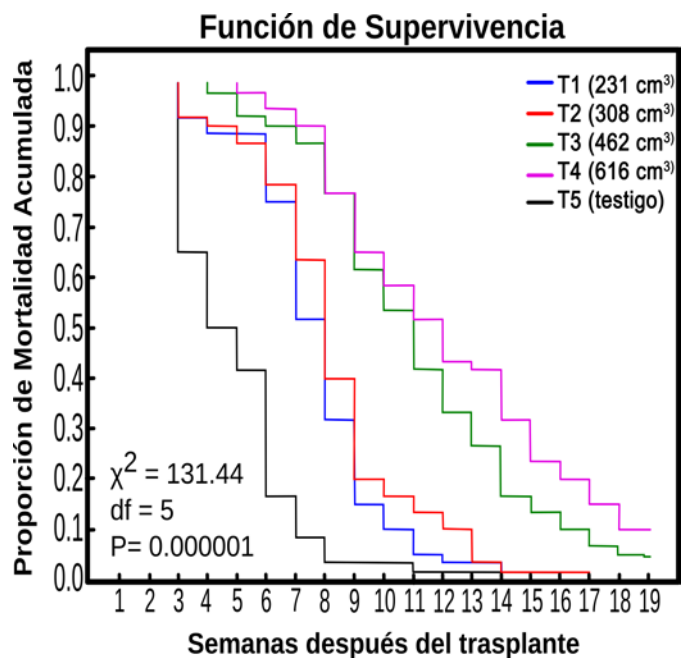


FIGURA 1. Curvas de supervivencia de plantas de *P. leiophylla* con tratamientos de espuma fenólica hidratada.



TABLA 2. Matriz de resultados para el análisis Log-Rank.

| | T1 (231 cm ³) | T2 (308 cm ³) | T3 (462 cm ³) | T4 (616 cm ³) | T5 (testigo) |
|----|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|
| T1 | | 0.18946 | 0.000001 | 0.00000001 | 0.001 |
| T2 | 0.18946 | | 0.000001 | 0 | 0.01 |
| T3 | 0.000001 | 0.000001 | | 0.11829 | 0.0001 |
| T4 | 0.00000001 | 0 | 0.11829 | | 0 |
| T5 | 0.001 | 0.01 | 0.0001 | 0 | |

* Resultados menores a 0.05 indican diferencias significativas

que tuvieron el mayor tiempo de supervivencia con respecto al resto de los grupos en el ensayo ($P < 0.05$). Las plantas con un bloque de espuma fenólica hidratada (231 cm³ y 308 cm³) no presentaron diferencias significativas entre ellas, pero sí con el resto de los tratamientos. De la misma manera, las plantas con dos bloques de espuma fenólica hidratada (462 cm³ y 616 cm³) no presentaron diferencias significativas entre ellas, pero sí con el resto de los tratamientos (Tabla 2).

Todas las plantas se mantuvieron vivas hasta la tercera semana después del trasplante. A partir de este tiempo, los testigos comenzaron a morir rápidamente; para la cuarta semana se conservaban vivos 75% de ellos, y para la quinta semana (35 días) solo 50%. Esta tendencia continuó hasta la octava semana, momento en que solo 8% de las plantas testigo se encontraban con vida. Las plantas con 231 cm³ y 308 cm³ de espuma fenólica presentaron las primeras muertes en la quinta semana después del trasplante. En la semana siete conservaban alrededor de 80% de sus individuos. Pero

después de esta fecha, comenzó un rápido descenso de su población, ya que en la semana ocho (56 días), solo conservan 50% y 60% de individuos respectivamente. Se debe resaltar que las plantas con 462 cm³ y 616 cm³ de espuma fenólica mantuvieron 100% de sus individuos vivos hasta la semana cuatro y cinco (28 días y 35 días) después del trasplante, respectivamente. La mortalidad de los individuos fue lenta, ya que ambos grupos conservaron vivos 90% de sus individuos hasta la semana ocho, y fue a partir de esta semana que la mortalidad aumentó considerablemente: en las semanas 11 y 12 (77 días y 84 días) ambos grupos conservaron 50% de sus individuos vivos y en la semana 16, ambos grupos conservaban menos de 20% de sus individuos vivos (Fig. 1).

Crecimiento en altura e incremento en diámetro

El análisis estadístico indicó la existencia de diferencias significativas ($P < 0.001$) en el crecimiento en altura e incremento en diámetro entre los tratamientos (Tabla 3).

TABLA 3. Resultados del análisis de covarianza para altura y diámetro en *P. leiophylla* con tratamientos de espuma fenólica hidratada.

| Variable | Cuadrados medios | | | | Pr>F |
|------------------------|------------------------------|-------------|----------------|-------------|-----------|
| | Tratamiento (4) ^a | Bloques (2) | Covariable (1) | Error (292) | |
| Incremento en altura | 24.9247 | 2.01148 | 2597.597290 | 1469.88932 | 0.000684 |
| Incremento en diámetro | 7.74897 | 1.77284 | 91.68232 | 161.47596 | 0.0000001 |

^a En paréntesis se presentan los grados de libertad correspondientes a cada fuente de variación

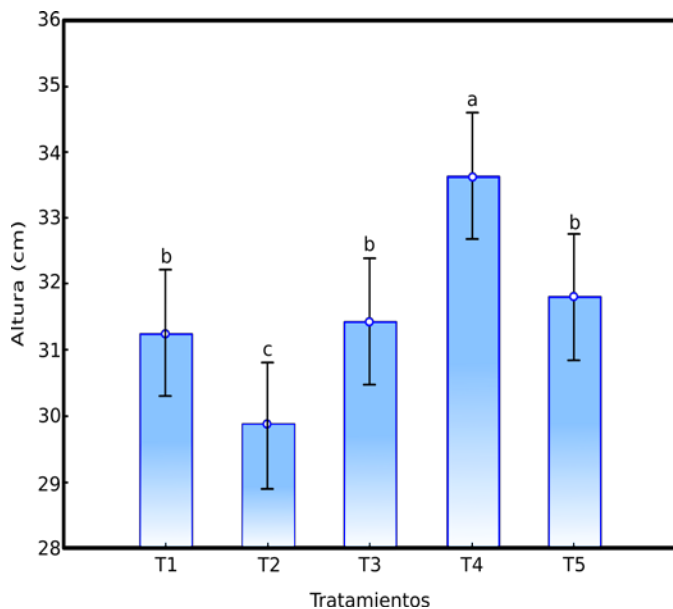


FIGURA 2. Porcentajes de supervivencia en plantas de *P. leiophylla* con distintos tratamientos de bloques de espuma fenólica.

Las plantas con 462 cm³ de espuma fenólica hidratada, presentaron el mayor crecimiento en altura (33.5 cm), existiendo una diferencia de 4.0 cm con respecto a las plantas con espuma de 308 cm³ (29.5 cm). El mayor incremento en diámetro fue presentado por las plantas con 616 cm³ y 462 cm³ de espuma fenólica hidratada, con 5.1 mm y 4.6 mm respectivamente, mientras que las plantas testigo y las que tenían 308 cm³ de espuma fenólica tuvieron el menor incremento, ya que solo alcanzaron un diámetro de 4.1 mm y 4.0 mm, respectivamente (Fig. 2 y 3).

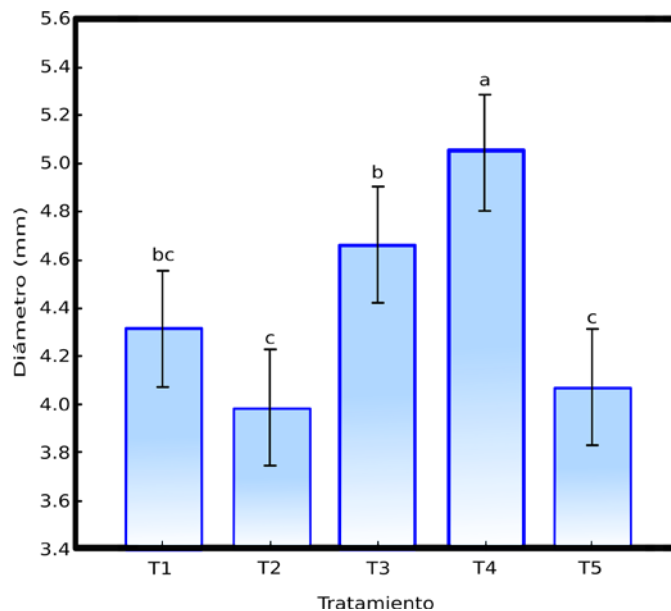


FIGURA 3. Incremento en altura y diámetro en plantas de *P. leiophylla* en distintos tratamientos de espuma fenólica hidratada.

Incremento en Biomasa

El análisis Anova indica la existencia de diferencias significativas para las variables de biomasa radicular ($P = 0.003$), aérea ($P = 0.001$) y total ($P < 0.001$) entre los tratamientos (Tabla 4). El tratamiento testigo presentó el mayor peso en biomasa radicular (0.98 g), aérea (2.60 g) y total (3.50 g), mientras que las plantas con 308 cm³ de espuma fenólica fueron las de menor peso de biomasa radicular (0.75 g), aérea (2.11 g) y total (2.86 g). La diferencia entre los valores extremos para la biomasa radicu-

TABLA 4. Resultados del análisis de varianza para biomasa en *P. leiophylla* con tratamientos de espuma fenólica hidratada

| Variable | Cuadrados medios | | Pr>F |
|-------------------|------------------------------|-------------|----------|
| | Tratamiento (4) ^a | Error (295) | |
| Biomasa radicular | 0.4861 | 0.1196 | 0.003178 |
| Biomasa aérea | 2.927 | 0.639 | 0.001330 |
| Biomasa total | 5.289 | 1.057 | 0.000649 |

^a En paréntesis se presentan los grados de libertad correspondientes a cada fuente de variación

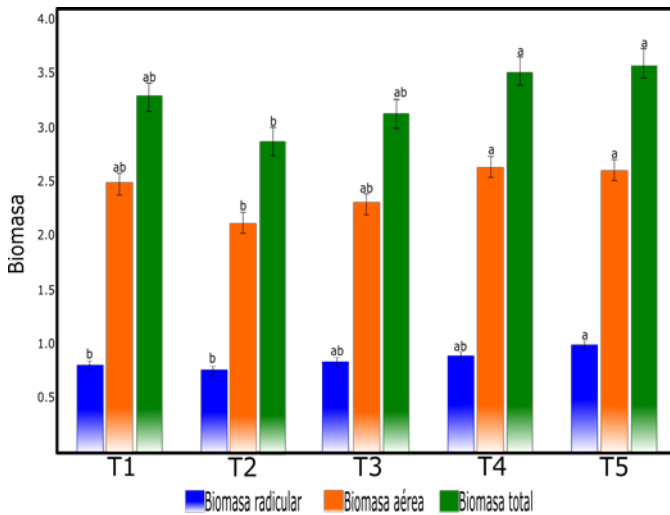


FIGURA 4 Biomasa en plantas de *P. leiophylla* en distintos tratamientos de bloques de espuma fenólica.

lar fue de 0.23 g, para la biomasa aérea fue de 0.49 g y para la biomasa total fue de 0.73 g.

El análisis de medias de Tukey confirma a las plantas con 308 cm³ de espuma fenólica como el grupo con el menor valor de biomasa radicular, aérea y total, presentando diferencias significativas ($P < 0.05$) con respecto a las plantas con 616 cm³ de espuma fenólica y al testigo. Las plantas con 231 cm³, 462 cm³ y 616 cm³ de espuma fenólica y el testigo no presentaron diferencias significativas entre ellas en biomasa aérea ni en total, no siendo así para el caso de la biomasa radicular, donde las plantas con 231 cm³ de espuma presentaron diferencias significativas con respecto al testigo (Fig. 4).

DISCUSIÓN

Se observa que tanto la selección de la planta, como el trasplante se llevaron a cabo de manera adecuada, ya que no se registró la muerte de plantas durante las primeras tres semanas del experimento, lo que corrobora lo expuesto por Ríos, Rivera, Valenzuela, Trucíos y Rosales, (2012) y Palacios, Rodríguez, Meza, Razo y Hernandez, (2016) quienes afirman que una buena técnica de trasplante y una elección adecuada de los individuos a utilizar, incrementan las posibilidades de supervivencia de las

plantas. Por lo anterior, la mortalidad en el ensayo, se puede atribuir enteramente al estrés hídrico y sequía.

Supervivencia

Los resultados obtenidos en este ensayo concuerdan con lo hallado por Espinoza (2010), Muller *et al.* (2012) y Palacios *et al.* (2015). En el estudio de Espinoza (2010) se utilizaron espumas fenólicas para incrementar la supervivencia durante la etapa de trasplante y aclimatación en campo de *Cattleya spp.*, alcanzando 100% de supervivencia al utilizar bloques de espuma fenólica, mientras que en el trabajo de Muller *et al.* (2012) se utilizaron exitosamente bloques de espuma para aumentar la supervivencia en la producción de plántulas de híbridos de *Eucalyptus urophylla* y *E. resinífera* tanto en campo como en invernadero, obteniendo solo 3% de mortalidad al utilizar bloques de espuma fenólica. Mientras que en el estudio de Palacios *et al.* (2015) se registró un incremento significativo en la supervivencia en campo (hasta 26%) al aplicar espuma fenólica hidratada.

Es importante aclarar que en los ensayos de Espinoza (2010) y Muller *et al.* (2012) se utilizaron plantas de distintas especies y en distintas etapas de crecimiento. Aun así, la espuma fenólica incrementó significativamente la supervivencia en ambos estudios, indicando que este tipo de material mejora la resistencia de las plantas al estrés hídrico, sin importar la especie, etapa de crecimiento o sustrato en el que es utilizado, a diferencia de otros materiales como el hidrogel, en el que diversos factores pueden alterar su funcionalidad y eficiencia (Agaba *et al.*, 2010; Farrell, Ang y Rayner, 2013).

Se debe resaltar que la aplicación de espuma fenólica hidratada permitiría adelantar las fechas de plantación para los programas de reforestación, ya que el usar 462 cm³ y 616 cm³ de espuma fenólica hidratada, permite que 90% de las plantas se mantengan con vida hasta por 56 días en condiciones de sequía total. Las plantas podrían soportar el estrés ocasionado por el trasplante (shock del trasplante) y la sequía y aprovechar plenamente el periodo de lluvias para desarrollar su sistema radicular y tener mayores probabilidades de sobrevivir. También ayudaría

a las plantas a sobrevivir en el periodo canicular, ya que la espuma rehidratada por las lluvias sería una fuente de humedad para las plantas reduciendo el estrés hídrico en este periodo en el que las lluvias son escasas y la radiación solar más intensa.

Crecimiento en altura e incremento en diámetro

Con respecto a la altura, los resultados obtenidos en este ensayo confirman lo encontrado por Palacios *et al.* (2015), en cuyo trabajo el uso de espuma fenólica incrementó significativamente el crecimiento en altura en plantas de *P. leiophylla* en campo. Sin embargo, contradicen lo registrado por Bezerra *et al.* (2010), en cuyo estudio se utilizó espuma fenólica con distintas sustancias reguladoras de pH para incrementar la tasa de germinación y crecimiento de *Lactuca sativa* y donde no se encontraron diferencias significativas en el crecimiento. Esta discrepancia se puede atribuir a la diferencia de etapas de crecimiento de las plantas utilizadas, ya que en la etapa de germinación, las plantas utilizan la energía y nutrientes almacenados en los cotiledones para iniciar su crecimiento, por tanto en la etapa germinativa, la falta de agua se verá reflejada principalmente en la supervivencia.

En estudios donde se utiliza otro tipo de reservorios de agua, tampoco se encuentran diferencias significativas en el crecimiento (Chirino, Vilagrosa y Vallejo, 2011; Maldonado, Aldrete, López, Vaquera y Cetina, 2011). Esto podría ser un indicio de que la espuma fenólica, al igual que otros materiales usados como reservorio de agua, tiene su mayor impacto en la supervivencia de los individuos y no en el crecimiento.

Los resultados obtenidos en el incremento del diámetro concuerdan con lo encontrado por da Silva, Kager, de Moraes y Gonçalves (2012), quien demostró que el adicionar un mayor volumen de reservorio de agua, permite que las plantas almacenen una mayor cantidad de nutrientes. Este comportamiento se vio reflejado en las plantas con 462 cm³ y 616 cm³ de espuma fenólica, ya que fueron las que presentaron el mayor incremento respecto al diámetro.

Es importante notar que las plantas con espuma fenólica de 231 cm³ y 308 cm³ presentaron crecimientos en

altura y diámetro similares al testigo. Este comportamiento es análogo a la supervivencia y, por tanto, esperado; indica que al igual que el testigo, vieron su crecimiento restringido debido al estrés hídrico generado por el agotamiento del agua disponible en la espuma.

Incremento en biomasa

Los resultados obtenidos en el presente estudio discrepan con lo obtenido por otros autores que observaron que con el uso de espuma fenólica de célula abierta incrementaba significativamente la biomasa (Bezerra *et al.*, 2010; Muller *et al.*, 2012). Esta discrepancia se puede atribuir a que las raíces de *P. leiophylla*, en el presente estudio, penetraron la espuma fenólica y al momento de extraer el sistema radicular, partes de las raíces se quedaron en la espuma y fue imposible recuperarlas, por tanto no se pudieron considerar en el pesado. Esto indica que es necesario desarrollar una metodología diferente que permita evaluar el efecto en la biomasa al usar espuma fenólica sin presentar este sesgo. Es importante mencionar que los autores mencionados también utilizaron especies distintas a la de este ensayo – da Silva *et al.* (2012) utilizaron híbridos de *Eucalyptus urophylla* y *E. resinífera*, mientras que Bezerra *et al.* (2010) utilizaron *Lactuca Sativa L.* –, por lo que es posible que la respuesta en biomasa al uso de espuma fenólica varié entre especies. Otro factor que pudo afectar los resultados es que las evaluaciones se realizaron durante la estación invernal y en un periodo corto, lo que de acuerdo con Cornejo y Emmingham (2003) afecta el incremento en biomasa de los pinos. Aun así, el comportamiento de la biomasa es predecible ya que en el crecimiento en altura y diámetro, las plantas con espuma fenólica de 308 cm³ también tuvieron el menor crecimiento.

CONCLUSIONES

La espuma fenólica de célula abierta ha demostrado ser un buen material para mitigar el estrés hídrico, ya que incrementa significativamente el tiempo de supervivencia de plantas de *P. leiophylla* en condiciones de sequía hasta en



siete semanas con respecto al testigo, al utilizar 462 cm³ de espuma fenólica.

También mejora el crecimiento en altura, alcanzando 3.75 cm más en plantas con 462 cm³, cm³ de espuma fenólica contra 1.9 cm en el testigo. El incremento en diámetro también se ve favorecido al utilizar espuma fenólica, con 1.9 mm al utilizar 462 cm³ de espuma fenólica con respecto a un incremento de 1.0 mm en el testigo. Sin embargo, el uso de espuma fenólica no aumentó la biomasa con respecto al testigo.

REFERENCIAS

- Agaba, H, Baguma O., L. J, Osoto E., J. F., Obua, J, Kabasa, J. D. y 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, 328–335.
- Arriaga, L. y Gómez, L. (2004). Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México. En J. Martínez y A. Fernández B. (Eds.), *Cambio climático: una visión desde México (255-265)*. D. F., México: Instituto Nacional de Ecología.
- Barchuk, A. H y 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.
- Bezerra N., E, Santos, R., Pessoa, P., Andrade, P., Oliveira, S. y Mendonça, I. (2010). Tratamiento de espuma fenólica para producción de mudas de alface. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 5, 418-422.
- Bosabalidis, A. M. y Kofidis, G. (2002). Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. *Plant Science*, 16, 375-379.
- Chirino, E., Vilagrosa, A. y Vallejo, V. R. (2011). Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. *Plant Soil*, 344, 99-110.
- Colegio de Postgraduados. (2008). *Reforestación Evaluación externa ejercicio fiscal 2007*. D. F., México: Semarnat.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2012). Informe de la evaluación específica del desempeño 2010-2011 valoración de la información contenida en el sistema de evaluación de desempeño. D. F., México: Semarnat.
- Cornejo, O. y Emmingham, W. (2003). Effects of water stress on seedling growth, water potential and stomatal conductance of four *Pinus* species. *Crops Research*, 25, 159–190.
- Cruz J., A. F. (2011). *Modelos de tiempos de vida y sus aplicaciones en el modelaje de mortalidad forestal*. Chapingo, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo.
- da Silva, P. H., Kager, D., de Moraes G., J. L. y Gonçalves, A. N. (2012). Produção de mudas clonais de eucalipto em espuma fenólica: crescimento inicial e mortalidade. *CERNE*, 18, 639–649.
- Eguiluz, P. T. (1978). *Ensayo de integración de los conocimientos sobre el genero Pinus en México*. Chapingo, México: Escuela Nacional de Agricultura.
- Espinoza Z., D. A. (2010). *Elaboración de espumas florales fenólicas que incorporan nutrientes, sustancias inhibidoras de etileno, preservantes y bactericidas para la conservación prolongada de plantas obtenidas in vitro en el laboratorio de cultivo de tejidos*. Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- Farrell, C., Ang, X. Q. y Rayner, J. P. (2013). Water-retention additives increase plant available water in green roof substrates. *Ecological Engineering*, 52, 112–118.
- Gardziella, A., Pilato, L. A. y Knop, A. (2000). *Phenolic Resins: Chemistry, Applications, Standardization, Safety and Ecology* (2a ed.). Nueva York: Springer Verlag.
- Lloret, F., Escudero, A., Iriondo, J. M., Martínez-Vilalta, J. y Valladares, F. (2012). Extreme climatic events and vegetation: the role of stabilizing processes. *Global Change Biology*, 18, 797–805.
- López, A. (2012). *Deforestación en México: Un análisis preliminar*. México: Centro de Investigación y Docencia Económicas A.C.
- Maldonado B., K., Aldrete A., R., López U., J., Vaquera H., H. y Cetina A., V. M. (2011). Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego en vivero. *Agrociencia*, 45, 389–398.
- Musálem, M. Á. y García M., S. (2003). *Monografía Pinus leio-phylla (1a ed)*. Chapingo, México: Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

- Nilsen, E. T. y Orcutt, D. M. (1996). *Physiology of plants under stress. Abiotic factors* (1a ed.) Nueva York: John Wiley and Sons.
- Ortiz O., M. (2006). *Respuestas fisiológicas y bioquímicas de dos especies de pinos en condiciones limitantes de humedad*. Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Palacios R., A., Rodríguez L., R., Meza R., J., Razo Z., R. y Hernández F., M. L. (2016). *Espuma fenólica, potenciador de la supervivencia en reforestaciones* (1aed.). Saarbrücken, Alemania: Editorial Académica Española.
- Palacios R., A., Rodríguez L., R., Prieto G., F., Meza R., J., Razo Z., R. y Hernández F., M. de la 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.
- Ríos S., J. C., Rivera G., M., Valenzuela N., L. M., Trucíos C., R. y Rosales S., R. (2012). Diagnóstico de las reforestaciones de mezquite y métodos para incrementar su supervivencia en Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XI(2), 63–67. doi: doi.org/dx.doi.org/0000
- Santillán P., J. (1991). *Silvicultura de las coníferas de la región central*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Schlegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. (2000). *Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal*. Chile: Universidad Austral de Chile.
- Universidad Autónoma Chapingo. (2009). *Reforestación: Evaluación Externa Ejercicio Fiscal 2008. Informe de entidades federativas -Resultados, Aciertos y Áreas de Oportunidad*. México D. F.: Conafor.
- Manuscrito recibido el 10 de junio de 2016.
Aceptado el 21 de febrero de 2017.
- Este documento se debe citar como:
Palacios-Romero, A., Rodríguez-Laguna, R., Razo-Zárate, R., Meza-Rangel, J., Prieto-García, F. y Hernández-Flores, M. L. (2017). Espuma fenólica de célula abierta hidratada como medio para mitigar estrés hídrico en plántulas de *Pinus leiophylla*. *Madera y Bosques*, 23(2), 43-52. doi: 10.21829/myb.2017.232512