

Revista Cubana de
Ciencias Forestales

CFORES

Volumen 11, número 3; 2023

Artículo original

Efecto de la espuma fenólica hidratada en la supervivencia de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schlttdl. & Cham y *Pinus teocote* Schlttdl. & Cham

*Effect of hydrated phenolic foam on the survival of **Pinus leiophylla** Schiede ex Schlttdl. & Cham and **Pinus teocote** Schlttdl. & Cham*

*Efeito da espuma fenólica hidratada na sobrevivência de **Pinus leiophylla** e **Pinus teocote** Schlttdl. & Cham*

Abraham Palacios Romero^{1*} , Rodrigo Rodríguez Laguna² , Ramón Razo Zárata² ,
Edith Jiménez Muñoz³ 

¹Tecnológico de Monterrey. México

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

³Escuela Superior de Apan, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

*Autor para la correspondencia: abraham.palacios@tec.mx

Recibido: 25/04/2023.

Aprobado: 04/08/2023.



RESUMEN

Países como México realizan importantes esfuerzos para reforestar su territorio, pero los resultados no son buenos debido a sus bajas tasas de supervivencia provocadas por la sequía y el estrés hídrico. Por lo que se evaluó el efecto de aplicar espuma fenólica de célula abierta hidratada al momento del trasplante en la supervivencia y el crecimiento en altura y diámetro en plantas de *Pinus leiophylla* y *Pinus teocote*. Se establecieron dos ensayos (uno para cada especie) con cinco tratamientos de diferente volumen de espuma fenólica hidratada. Las variables medidas fueron la supervivencia, el crecimiento en altura e incremento en diámetro. Los análisis mostraron que la espuma fenólica hidratada aumenta significativamente la supervivencia y el crecimiento en altura en plantas de *Pinus leiophylla*, pero no así en altura en *Pinus teocote*. No se detectó efecto sobre el diámetro para ninguna de las especies. La aplicación de espuma fenólica hidratada al momento del trasplante aumenta la supervivencia.

Palabras clave: estrés hídrico; pino; plantaciones forestales; reforestación; sequía.

ABSTRACT

Countries like Mexico make significant efforts to reforest, but the results are not good due to the low survival rates caused by drought and water stress. Therefore, the effect of applying hydrated phenolic foam at plantation moment, on the survival and growth in *Pinus leiophylla* and *Pinus teocote* was assessed. Two trials were established, one for each species, with five treatments of different volumes of hydrated phenolic foam. The variables measured were survival, growth in height and diameter. The analyzes showed that hydrated phenolic foam significantly increases survival and height growth in *Pinus leiophylla*, but not in *Pinus teocote*. No effect was shown on diameter for any of the species. The application of hydrated phenolic foam at planting moment increase the survival of pine.

Keywords: water stress; Pine tree; Forest plantations; reforestation; drought.



RESUMO

Países como o México fazem esforços importantes para reflorestar seu território, mas os resultados não são bons devido às baixas taxas de sobrevivência causadas pela seca e pelo estresse hídrico. Portanto, o efeito da aplicação de espuma fenólica hidratada de célula aberta no momento do transplante sobre a sobrevivência e o crescimento em altura e diâmetro de *Pinus leiophylla* e *Pinus teocote* realizados dois testes (um para cada espécie) com cinco tratamentos de diferentes volumes de espuma fenólica hidratada. As variáveis medidas foram sobrevivência, crescimento em altura e incremento em diâmetro. As análises mostraram que a espuma fenólica hidratada aumentou significativamente a sobrevivência e o crescimento em altura nas plantas de *Pinus leiophylla*, mas não nas plantas de *Pinus leiophylla*. Não foi observado efeito sobre o diâmetro em nenhuma das espécies: a aplicação de espuma fenólica hidratada no transplante pode ser capaz de aumentar a sobrevivência de algumas espécies de pinheiro.

Palavras-chave: estresse hídrico; pinheiro; plantações florestais; reflorestamento; seca.

INTRODUCCIÓN

Se estima que, durante los años 2001 y 2012, se perdieron anualmente 125 000 km² de bosques y selvas (Winkler *et al.*, 2021). Este proceso de deforestación se debe principalmente a que la gente suele preferir los beneficios económicos que ofrecen otros usos de la tierra a los que proporcionan los bosques, tales como el almacenamiento de carbono, hábitat de especies, biodiversidad, filtración de agua, productos madereros y no madereros, alimentos y medicinas, y recreación (Busch y Ferretti-Gallon 2017). Dado que los bosques son una pieza clave para mitigar los efectos del cambio climático, las actividades de reforestación están ganando importancia en todo mundo. Sin embargo, debido a los efectos del cambio climático, muchos países están enfrentando un panorama complicado, ya que las sequías se están volviendo más severas y se están modificando los patrones de lluvia, lo que provoca que las plantas se vean expuestas a un mayor estrés hídrico, problemas de crecimiento e incluso la muerte (FAO 2018).



En México, la situación no es simple, ya que se estima que anualmente se pierden 155 000 hectáreas de bosques y selvas (Gao *et al.*, 2016) y los programas de reforestación solo alcanzan un 48 % de supervivencia. Múltiples causas contribuyen a esto: la mala calidad de las plantas, mala elección en las fechas de plantación, malas prácticas en el transporte y la sequía (Burney *et al.*, 2015).

Un producto que podría ayudar a mitigar los efectos de la sequía es el uso de espuma fenólica de célula abierta. Esta es una resina sintética termoestable y capaz de almacenar hasta 40 veces su propio peso en agua y sin deformarse. Debido a su estructura física, las raíces de las plantas pueden atravesarla fácilmente y extraer el agua almacenada dentro de ella (Gardziella, Pilato y Knop 2015). Este tipo de materiales están compuestos a partir de resinas de fenol-formaldehído que han sido expandidas por reacciones exotérmicas provocadas al mezclar ácidos orgánicos y agentes de expansión de alta volatilidad, son un material inerte y seguro para el medio ambiente (Liang *et al.*, 2016; Gardziella, Pilato y Knop 2015)

La espuma fenólica de célula abierta es utilizada principalmente como sustratos hidropónicos en invernaderos y han mostrado ser capaces de incrementar la supervivencia y disminuir drásticamente el consumo de agua de riego en plántulas de *Lactuca sativa*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus sp.* y *Mentha x villosa* (Paulus *et al.*, 2005; Bezerra Neto *et al.*, 2010; Muller da Silva *et al.*, 2012).

A pesar de los resultados mostrados en condiciones de invernadero, el efecto de este material en la supervivencia y crecimiento en estudios de campo ha sido poco estudiado por la comunidad científica (Palacios *et al.* 2015). Los pocos estudios realizados indican que este material es capaz de incrementar significativamente la supervivencia de *Pinus leiophylla* (Palacios Romero *et al.*, 2015) debido al efecto de reservorio de agua cerca de la rizósfera

Por otra parte, *Pinus leiophylla* es una de las especies de pino con mayor distribución en México capaz de establecerse en suelos pobres y degradados, su madera tiene una alta demanda en las industrias de la construcción y papelera (Palacios-Romero *et al.*, 2017). *Pinus teocote* es una especie de amplia distribución en el estado de Hidalgo y que puede



establecerse en sitios con poca precipitación y posee una madera muy cotizada en la industria forestal (Hernández Ramos *et al.*, 2013).

Debido a que cada vez es más importante aumentar la supervivencia en los programas de reforestación y teniendo en cuenta el efecto que tendrá el cambio climático en los patrones de sequía y precipitación, es necesario encontrar materiales que ayuden a mitigar el estrés hídrico en campo. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de aplicar espuma fenólica de célula abierta hidratada al momento del trasplante en la supervivencia y el crecimiento en altura y diámetro en plantas de *Pinus leiophylla* y *Pinus teocote*.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el mes de septiembre de 2014, se estableció un ensayo en la comunidad de "El Aserradero" perteneciente al municipio de Cuautepec de Hinojosa, ubicado en el estado de Hidalgo que se ubica en las coordenadas 19°56'57,31" N and 98°20'22,72" O y a una altitud de 2 691 m (Figura 1).

El área de estudio fue de aproximadamente 1 hectárea, sin pendiente (debido a que los pobladores de la comunidad habían realizado trabajos previamente para disminuir la escorrentía que afectaba a las comunidades que estaban en zonas más bajas) y exposición norte. El clima es tipo Cw con una temperatura media anual de 15°C y una temporada de lluvias que va de marzo a octubre y una precipitación media anual entre 600 y 1 100/ mm (INAFED 2010). La vegetación predominante en la región son los bosques de pino (Fonseca-González *et al.*, 2014). El suelo de la zona cuenta con las características mencionadas en Tabla 1. El análisis de suelo fue realizado en el departamento de investigación en ciencias agrícolas (DICA) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.



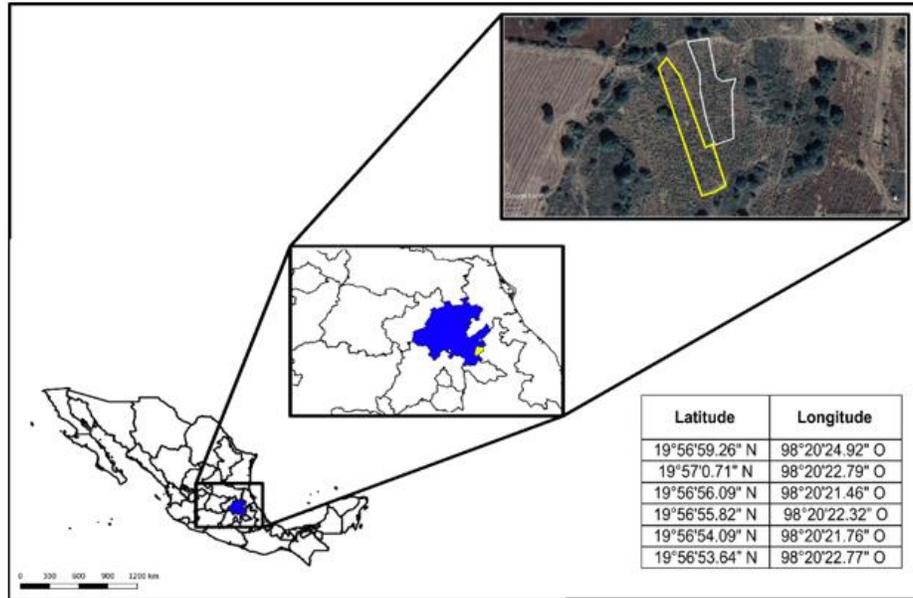


Figura 1. - Localización geográfica del área de estudio. En color amarillo la plantación de *Pinus leiophylla* y en blanco la de *Pinus teocote*

Tabla 1. - Resultados del análisis de suelo del área de estudio

Variable	Unidad	Valor
pH	-	4,9
Materia Orgánica	%	1,8
Nitrógeno	%	0.075
Arena	%	19,4
Limo	%	40,0
Arcilla	%	40,6
Textura	-	Arcillosa

Para el ensayo se emplearon plantas de *P. leiophylla* y *P. teocote*, fueron obtenidas del vivero comercial "Vivero y Asesoría Forestal de Hgo" ubicado en el municipio de Acaxochitlán, en el estado de Hidalgo. Fueron producidas en envases de plástico de 170 cm³. El sustrato consistió en una mezcla de peat moss, perlita y vermiculita (3:1:1) y seis gramos de Osmocote plus™ de liberación lenta (15-09-12) por cada litro de mezcla.



Las plantas utilizadas tenían un año (altura 20-25 cm), se seleccionaron plantas que estuvieran libres de enfermedades, con tallo lignificado y fascículos completamente desarrollados (esto fue revisado visualmente). Por último, la espuma fenólica utilizada en este ensayo era de la marca Smithers-Oasis® que es biodegradable.

Al momento del trasplante se aplicaron cinco tratamientos: tratamiento uno (T1) consistió en un bloque de espuma fenólica hidratada de 3,3x7x10 cm; tratamiento dos (T2) consistió en un bloque de espuma fenólica hidratada de 4,4x7x10 cm; el tratamiento tres (T3) consistió en dos bloques de espuma hidratada 3,3x7x10 cm; el tratamiento 4 (T4) consistió en dos bloques de espuma hidratada de 4,4x7x10 cm; el tratamiento cinco (T5) fue el testigo. Todos los tratamientos fueron colocados junto al cepellón de la planta procurando maximizar la superficie de contacto (Tabla 2).

En septiembre de 2014, se estableció el ensayo para *P. leiophylla*. Se delimitaron cinco bloques (un bloque por cada tratamiento) y en cada bloque fueron plantados 35 arbolitos, con sus respectivos tratamientos. Las plantas fueron colocadas con una separación de 3 x 3 metros entre ellas. Para cada bloque se realizaron tres repeticiones (dando un total de 525 árboles en el ensayo).

Para el caso de *P. teocote*, se estableció un ensayo en la misma fecha y con las mismas condiciones que en el ensayo con *P. leiophylla*. Las camas fueron excavadas con unas dimensiones aproximadas de 30 x 30 x 30 cm y fueron hechas en la misma fecha de la plantación. El suelo fue extraído y separado en dos porciones para que cuando la planta fuera colocada, el suelo superficial (con mayor cantidad de nutrientes y materia orgánica) estuviera en la parte más profunda de la cepa. Las rocas fueron retiradas, los grumos fueron pulverizados y se compactó ligeramente el suelo para evitar la presencia de macroporos en el suelo. Ambas plantaciones se realizaron utilizando un sistema de plantación de marco real.

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar y las variables evaluadas fueron la supervivencia y altura y diámetro. La supervivencia fue evaluada de manera visual: si la



planta presentaba signos de marchitez, pérdida de turgencia o falta de la coloración característica de la especie, se le consideraba muerta.

Tabla 2. - Descripción de los tratamientos de espuma fenólica utilizados y como fueron aplicados

	Descripción	Colocación
T1	Un bloque de espuma fenólica hidratada de 3,3x7x10 cm. Volumen de agua absorbido: 227,5 ml	A un costado del cepellón de la planta y colocado a 7 cm por debajo de la superficie.
T2	Un bloque de espuma fenólica hidratada de 4,4x7x10 cm. Volumen de agua absorbido: 287 ml.	A un costado del cepellón de la planta y colocado a 7 cm por debajo de la superficie.
T3	Dos bloques de espuma fenólica hidratados de 3,3x7x10 cm. Volumen de agua absorbido: 455,1 ml.	A los costados del cepellón de la planta y colocados a 7 cm por debajo de la superficie.
T4	Dos bloques de espuma fenólica hidratados de 4,4x7x10 cm. Volumen de agua absorbido: 574 ml.	A los costados del cepellón de la planta y colocados a 7 cm por debajo de la superficie.
T5	Testigo (sin bloques de espuma fenólica)	La planta fue trasplantada de la manera tradicional y sin agregar ningún otro elemento

La altura (medida en cm) y el diámetro (medido en cm) fueron evaluadas a través de imágenes digitales conforme a Pereira Padrón (2014). Para esto, se utilizó una cámara digital Nikon Coolpix S2800 y para el procesamiento de las imágenes se utilizó el programa ImageJ versión 1.48. Las fotografías se tomaron paralelas a las plantas a una distancia de 50 cm y con una regla de un metro como referencia. Se eligió este método para agilizar las mediciones y así optimizar el tiempo en campo. Durante los primeros seis meses después de realizada las plantaciones, se realizaron evaluaciones cada cuatro semanas. Después de este periodo, se realizaron dos mediciones trimestrales, y, por último, dos mediciones semestrales. Dando un total de dos años después de establecida la plantación

Los datos de supervivencia fueron sometidos a un análisis de supervivencia utilizando el estimador Kaplan-Meier y en caso de presentar diferencias significativas, se utilizó la prueba de Log-Rank para determinar el mejor tratamiento. Se empleó un análisis de varianza con las variables altura y diámetro utilizando un modelo lineal generalizado. Para detectar diferencias significativas, se utilizó como prueba post hoc la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Supervivencia

El análisis Kaplan-Meier para *P. leiophylla* arrojó diferencias significativas entre los tratamientos ($P=0,004$), mostrando un comportamiento similar con lo reportado para las especies de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus resinifera* y *P. leiophylla* (Palacios Romero *et al.*, 2015). En esos estudios, aplicar espuma fenólica hidratada incrementó significativamente la supervivencia de las plantas en condiciones de estrés hídrico. El análisis Log-Rank confirmó que el testigo tenía la menor supervivencia comparada con el resto de los tratamientos. Por otra parte, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en que se empleó la espuma fenólica (Tabla 3).

Aunque estudios previos mostraron que usar grandes volúmenes de espuma fenólica hidratada incrementaba proporcionalmente la supervivencia de las plantas (Palacios Romero *et al.* 2015), en el presente estudio no fue así. Esto se puede atribuir a la diferencia de condiciones en las cuales los estudios fueron llevados a cabo: Palacios *et al.* (2015) establecieron su ensayo en otra región con condiciones ambientales y climáticas diferentes a las del presente estudio; ya que mientras en el ensayo de Palacios *et al.* (2015) se encontraba en una zona a 2200 m de altura y que durante el tiempo que se realizó el ensayo reportó un promedio de 56 mm de precipitación, mientras que en el presente estudio se encontraba a una altura de 2 691 m y con una precipitación promedio de 64,4 mm.

Durante los primeros 150 días después del trasplante, la supervivencia en *P. leiophylla* para las plantas con espuma fenólica de 287 ml y 455,1 ml (T2 y T3) fue de 78 y 76 %, mientras que en el resto de los tratamientos estaba por debajo de 72 %. Por otro lado, el testigo presentó una alta mortandad después de los 180 días de realizado el trasplante, ya que pasó de tener una supervivencia de 72 % a menos del 50 %. Esta tendencia duró hasta los 540 días después del trasplante, momento en el cual la supervivencia en el testigo se estabilizó y se mantuvo en 35 % (Figura 2).



Tabla 3. - Análisis Log-Rank de plantas de *P. leiophylla* con diferentes tratamientos de espuma fenólica hidratada

Matriz Log-Rank

	T1-PF 227.5 ml	T2-PF 287 ml	T3-PF 455.1 ml	T4-PF 574 ml	T5-testigo
T1-PF 227.5 ml		0,43395	0,37985	0,84210	0,00612
T2-PF 287 ml	0,43395		0,99286	0,64344	0,00023
T3-PF 455.1 ml	0,37985	0,99286		0,52940	0,00025
T4-PF 574 ml	0,84210	0,64344	0,52940		0,00406
T5-Testigo	0,00612	0,00023	0,00025	0,00406	

* Resultados menores a 0.05 indican diferencias significativas

Las plantas de *P. leiophylla* con espuma fenólica también tuvieron un decremento en la supervivencia después de los 180 días de realizado el trasplante (aunque esta no fue tan pronunciada como en el testigo). Sin embargo, la mortalidad a lo largo del ensayo fue menos pronunciada y al momento de concluir el experimento la supervivencia para las plantas con espuma fenólica de 227,5 ml y 574 ml era de 58 % (10 % por arriba de lo reportado por Burney *et al.*, 2015) mientras que la supervivencia para las plantas con espuma fenólica de 455,1 ml y 287 ml fue de 65 % (17 % por encima de lo reportado por Burney *et al.*, 2015). El decremento en la supervivencia a los 180 después del trasplante se puede atribuir a que este período de tiempo coincidió con la temporada invernal, en la cual es común la presencia de frentes fríos y heladas que ocasionan la muerte de las plantas.

Al comparar la supervivencia con la precipitación en la región podemos observar que están directamente relacionadas. Es importante notar que en el periodo de mayo a agosto (2015) a pesar de la alta precipitación, la supervivencia continúa disminuyendo; esto se puede atribuir a la canícula que provoca un incremento en la temperatura, evaporación y evapotranspiración, lo que generó un estrés hídrico en las plantas y por ende podría haber afectado a la supervivencia (Hartmann *et al.*, 2022) (Figura 3).



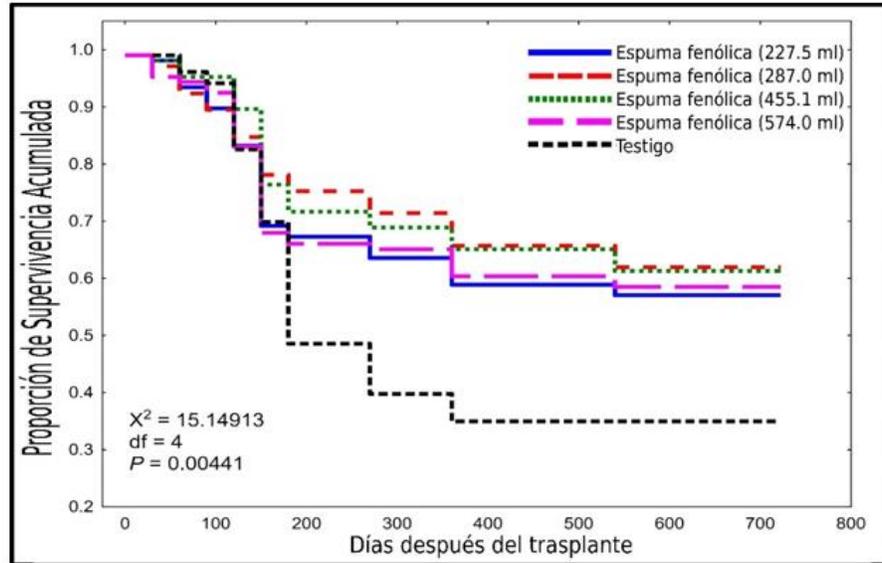


Figura 2. - Supervivencia de plantas de *P. leiophylla* con diferentes tratamientos de espuma fenólica hidratada

Al comparar los resultados del presente estudio con los obtenidos en otros ensayos que usan otros materiales como reservorios de agua, se observa que la espuma fenólica tiene un excelente desempeño, ya que al aplicarlo se incrementó la supervivencia de las plantas por encima de lo alcanzado en otros ensayos. Se ha reportado que aplicar hidrogel en *Pinus halapensis* al momento del trasplante en suelos limosos afectaba negativamente su supervivencia (Abdallah 2019). En otro estudio, cuando se aplicó hidrogel a plántulas de *Pinus sylvestris* la supervivencia disminuyó en 18 %. También se ha observado que aplicar hidrogel a plántulas de *Pinus taeda* puede incrementar la mortalidad en un 28 %. Además de estos resultados, existen reportes que indican que después de las lluvias el hidrogel tiende a desenterrar a las plántulas del suelo, causándoles con ello la muerte (Chang *et al.*, 2020). Algo importante, a notar, es que, en todos estos estudios, la supervivencia fue menor que la obtenida al aplicar espuma fenólica hidratada al momento del trasplante, lo que refuerza la idea de que es un material viable para usar en los programas de reforestación y así incrementar la supervivencia de las plantas de pino.



Con respecto a *P. teocote*, el análisis Log-Rank mostró que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($P=0,42$). Sin embargo, se puede apreciar una tendencia a una menor supervivencia en el testigo comparado con el resto de los tratamientos utilizados en el ensayo (Figura 4).

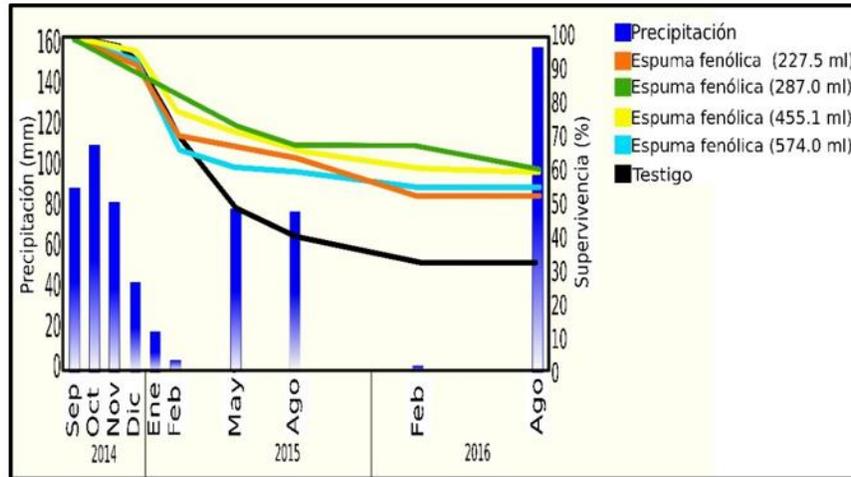


Figura 3. - Supervivencia de plantas de *P. leiophylla* con diferentes tratamientos de espuma fenólica hidratada en relación con la precipitación

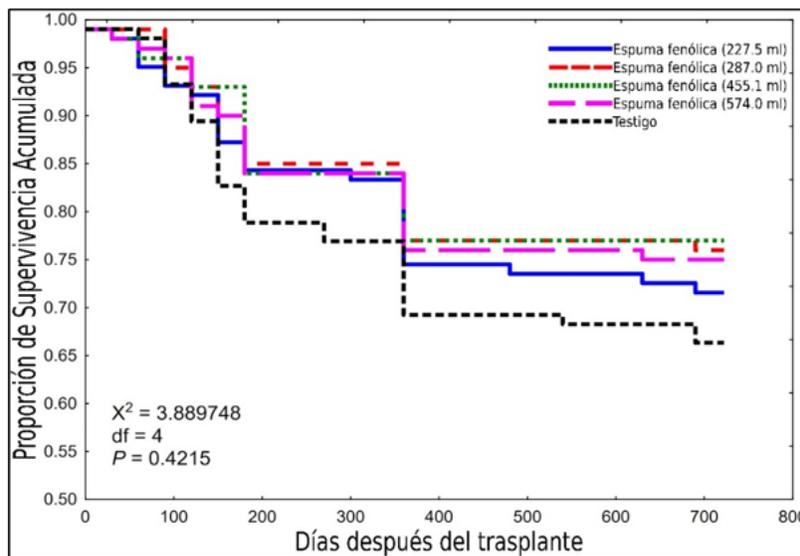


Figura 4. - Supervivencia de plantas de *P. teocote* con diferentes tratamientos de espuma fenólica hidratada



Contrario a lo observado en *P. leiophylla* el decremento en la supervivencia en *P. teocote* no fue tan pronunciado en los primeros 180 días después del trasplante, ya que todos ellos mantuvieron una supervivencia de alrededor de 85 % y se mantuvo sin cambios hasta transcurridos 365 días del trasplante momento en el cual la supervivencia disminuyó a 75 % y se mantuvo estable hasta el final del experimento.

El testigo se comportó de manera similar al resto de los tratamientos aplicados en *P. teocote*, aunque su mortalidad fue ligeramente mayor, alcanzando una supervivencia del 78 % (7 % menos que en el resto de los tratamientos). Además, contrario el patrón observado en los tratamientos de espuma fenólica en el grupo testigo después de 210 días, la supervivencia disminuyó hasta alcanzar el 75 % y una vez transcurridos 365 días después del trasplante la supervivencia había disminuido hasta un 67 %.

Al relacionar la supervivencia en *P. teocote* con respecto a la precipitación se observa que en los meses con la menor cantidad de lluvia ocurrió la mayor mortandad de plantas (aunque no tan pronunciada como en *P. leiophylla*) esto se puede observar más fácilmente en el testigo. Esto corrobora el efecto positivo de aplicar la espuma fenólica hidratada (Figura 5). En los meses de mayo a agosto (correspondiente a la temporada de canícula) la supervivencia de plantas *P. teocote* con espuma fenólica hidratada permaneció sin cambios, mientras que en el testigo disminuyó a 75 %. Aunque se sabe que esta especie posee una resistencia natural a las sequías (Gernandt y Pérez-de la Rosa 2014), este evento afectó negativamente al testigo, mientras que a las plantas con espuma fenólica no fue así. Por lo tanto, la espuma fenólica podría ayudar a mitigar los efectos de la canícula.

Crecimiento en altura y diámetro

En las plantas de *P. leiophylla*, el análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas en el crecimiento en altura ($P=0,04$), siendo el testigo el que presentó el menor crecimiento con respecto al resto de los tratamientos (no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de espuma fenólica) (Figura 6). Estos resultados son concordantes con lo obtenido por Palacios Romero *et al.* (2015), que indican que, aplicar



espuma fenólica hidratada en plantas de *P. leiophylla*. Con respecto al diámetro, no hubo efecto significativo de los tratamientos sobre el diámetro ($P=0,68$) (Tabla 4).

Con respecto a las plantas de *P. teocote*, el análisis de varianza indicó que no existen diferencias significativas para ninguna de estas variables ($P>0.05$) (Tabla 5).

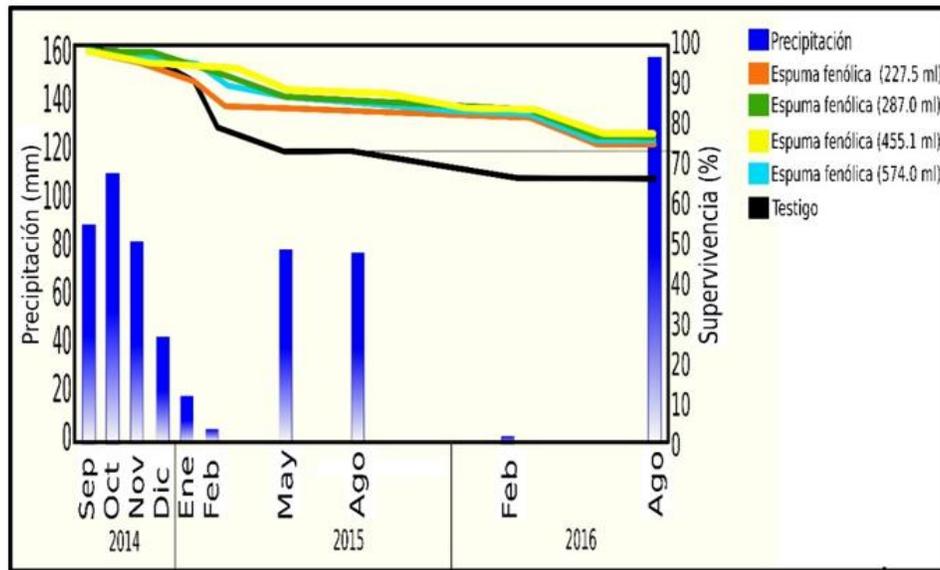


Figura 5. - Supervivencia de plantas de *P. teocote* con diferentes tratamientos de espuma fenólica hidratada en relación con la precipitación

Tabla 4. - Análisis de varianza para la altura y diámetro de plantas de *P. leiophylla* con diferentes tratamientos de espuma fenólica hidratada

Variable	Análisis de varianza		Pr>F
	Cuadrados medios		
	Tratamiento (4) ^z	Error (521) ^z	
Altura	503,9	206,8	0,046247
Diámetro	0,5435	0,9165	0,667818

^z En paréntesis se presentan los grados de libertad



Tabla 5. - Análisis de varianza para la altura y diámetro de plantas de *P. teocote* con diferentes tratamientos de espuma fenólica hidratada

Análisis de varianza			
Variable	Cuadrados medios		Pr>F
	Tratamiento	Error	
	(4) ^z	(521) ^z	
Altura	137,3	153,5	0,467138
Diámetro	3,772	7,186	0,106403

^zEn paréntesis se presentan los grados de libertad

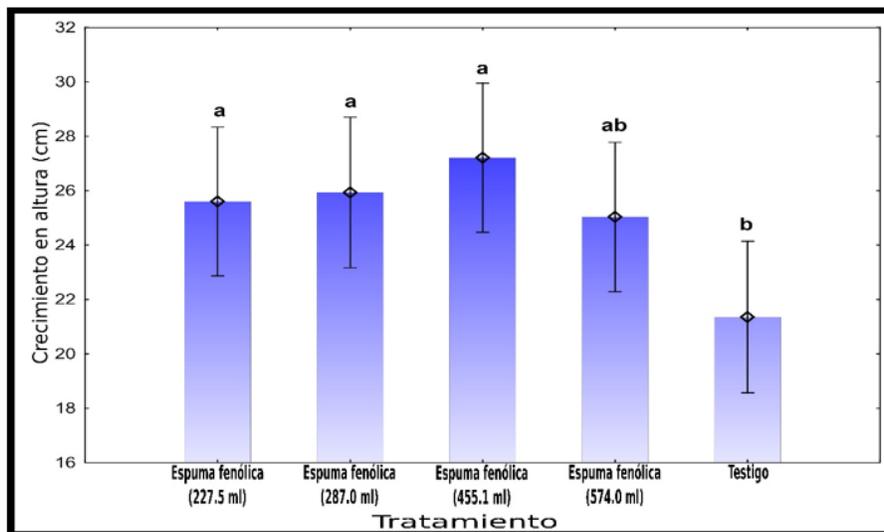


Figura 6. - Crecimiento en altura en plantas de *P. leiophylla* con diferentes tratamientos de espuma fenólica hidratada. * Barras con diferente letra indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$)

CONCLUSIONES

Aplicar espuma fenólica hidratada al momento del trasplante incrementa significativamente la supervivencia y la altura en *P. leiophylla*.

En *P. teocote* no se observaron diferencias significativas en supervivencia y crecimiento del diámetro y la altura.



El estudio sugiere que la aplicación de espuma fenólica hidratada al momento del trasplante aumenta la supervivencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLAH, A.M., 2019. The effect of hydrogel particle size on water retention properties and availability under water stress. *International Soil and Water Conservation Research* [en línea], vol. 7, no. 3, ISSN 2095-6339. DOI <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.001>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633918301114>.
- BEZERRA NETO, E., SANTOS, R., PESSOA, P., ANDRADE, P., OLIVEIRA, S. y MENDONÇA, I., 2010. Tratamento de espuma fenólica para produção de mudas de alface. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 5, no. 3, DOI 10.5039/agraria.v5i3a728. <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119016971022.pdf>
- BURNEY, O., ALDRETE, A., REYES, R.A., SA, R. y MEXAL, J.G., 2015. México Addressing challenges to reforestation. , vol. 113, no. July, DOI <https://doi.org/10.5849/jof.14-007>.
- BUSCH, J. y FERRETTI-GALLON, K., 2017. What Drives Deforestation and What Stops It? A Meta-Analysis. *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 11, no. 1, ISSN 1750-6816. DOI 10.1093/reep/rew013. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1093/reep/rew013>
- CHANG, I., LEE, M., TRAN, A.T.P., LEE, S., KWON, Y.-M., IM, J. y CHO, G.-C., 2020. Review on biopolymer-based soil treatment (BPST) technology in geotechnical engineering practices. *Transportation Geotechnics* [en línea], vol. 24, ISSN 2214-3912. DOI <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100385>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214391220302737>.



FAO, 2018. *The State of the World's Forests 2018 Forest pathways to sustainable development* [en línea]. 1st. Rome, Italy: FAO. [consulta: 31 enero 2023]. ISBN 9789251305614. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ca0188en/ca0188en.pdf>.

FONSECA-GONZALEZ, JUANA; DE LOS SANTOS-POSADAS, H. Manuel; RODRIGUEZ-ORTEGA, ALEJANDRO AND RODRIGUEZ-LAGUNA, RODRIGO. 2014. Efecto del daño por fuego y descortezadores sobre la mortalidad de *Pinus patula* Schl. et Cham en Hidalgo, México. *Agrociencia* [online]. 2014, vol.48, n.1 [cited 2023-12-26], pp.103-113. ISSN 2521-9766. Available from: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952014000100007&lng=en&nrm=iso.

GAO, Y., GHILARDI, A., PANEQUE-GALVEZ, J., SKUTSCH, M. y MAS, J.F., 2016. Validation of MODIS Vegetation Continuous Fields for monitoring deforestation and forest degradation: two cases in Mexico. *Geocarto International*, vol. 31, no. 9, ISSN 10106049. DOI 10.1080/10106049.2015.1110205. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-04101-7>

GARDZIELLA, A., PILATO, L.A. y KNOP, A., 2015. *Phenolic Resins: Chemistry, Applications, Standarization, Safety and Ecology*. 2nd. New York: Springer. vol. 2. ISBN 9788578110796. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-04101-7>

GERNANDT, D.S. y PÉREZ-DE LA ROSA, J.A., 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* [en línea], vol. 85, ISSN 1870-3453. DOI <https://doi.org/10.7550/rmb.32195>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1870345314706840>.

HARTMANN, H., BASTOS, A., DAS, A.J., ESQUIVEL-MUELBERT, A., HAMMOND, W.M., MARTÍNEZ-VILALTA, J., MCDOWELL, N.G., POWERS, J.S., PUGH, T.A.M., RUTHROF, K.X. y ALLEN, C.D., 2022. Climate Change Risks to Global Forest Health: Emergence of Unexpected Events of Elevated Tree Mortality Worldwide. *Annual Review of Plant Biology* [en línea], vol. 73, no. 1, ISSN 1543-5008. DOI 10.1146/annurev-



arplant-102820-012804. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102820-012804>.

HERNÁNDEZ RAMOS, J., MAGAÑA, J.J.G., FLORES, H.J.M., GARCÍA CUEVAS, X., REYES, T.S., LÓPEZ, C.F. y RAMOS, A.H., 2013. Guía de densidad para manejo de bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. et Cham. en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 4, no. 19, DOI <https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i19.379>.

INAFED, 2010. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. [en línea]. [consulta: 1 enero 2015]. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM13hidalgo/municipios/13024a.html>.

LIANG, B., LI, X., HU, L., BO, C., ZHOU, J. y ZHOU, Y., 2016. Foaming resol resin modified with polyhydroxylated cardanol and its application to phenolic foams. *Industrial Crops and Products*, vol. 80, ISSN 09266690. DOI 10.1016/j.indcrop.2015.11.087. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669015305884>

MULLER DA SILVA, P.H., KAGER, D., DE MORAES GONÇALVES, J.L. y GONÇALVES, A.N., 2012. Produção de mudas clonais de eucalipto em espuma fenólica: crescimento inicial e mortalidade. *CERNE*, vol. 18, no. 4, DOI 10.1590/S0104-77602012000400014.

PALACIOS ROMERO, A., RODRÍGUEZ LAGUNA, R., PRIETO GARCÍA, F., MEZA RANGEL, J., RAZO ZÁRATE, R. y HERNÁNDEZ FLORES, 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*, vol. 6, no. 32, DOI 10.29298/rmcf.v6i32.100. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11322015000600083&script=sci_abstract



PALACIOS-ROMERO, A., RODRÍGUEZ-LAGUNA, R., RAZO ZÁRATE, R., MEZA-RANGEL, J., PRIETO-GARCÍA, F. y HERNÁNDEZ FLORES, M. de la L., 2017. Espuma fenólica de célula abierta hidratada como medio para mitigar estrés hídrico en plántulas de *Pinus leiophylla*. *Madera y Bosques* [en línea], vol. 23, no. 2, ISSN 2448-7597. DOI 10.21829/myb.2017.232512. Disponible en: <http://myb.ojs.inacol.mx/index.php/myb/article/view/512>.

PAULUS, D., MEDEIROS, S.L.P., SANTOS, O.S., RIFFEL, C., FABBRIN, E.G. y PAULUS, E., 2005. Substratos na produção hidropônica de mudas de hortelã. *Horticultura Brasileira*, vol. 23, no. 1, ISSN 0102-0536. DOI 10.1590/S0102-05362005000100010. <https://www.scielo.br/j/hb/a/3b6GskHknwkCrXVgq4kRFFB/>

PEREIRA PADRON, A.C., 2014. Utilización de imágenes digitales para medición del diámetro de frutos de mandarina (*Citrus reticulata*) en crecimiento. *Ciencia y Tecnología*, vol. 6, no. 1, DOI 10.18779/cyt.v6i1.173. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4737493>

WINKLER, K., FUCHS, R., ROUNSEVELL, M. y HEROLD, M., 2021. Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications* [en línea], vol. 12, no. 1, ISSN 2041-1723. DOI 10.1038/s41467-021-22702-2. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>.

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.





Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Copyright (c) 2023 Abraham Palacios Romero, Rodrigo Rodríguez Laguna, Ramón Razo Zárate, Edith Jiménez Muñoz

