



Tratamientos para aumentar la supervivencia y el crecimiento inicial de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl.

Treatments to increase the survival and initial growth of *Pinus greggii* Engelm. ex Parl.

Anayetzi Badillo-Hernández¹, Yenifer Eliseo-Quintero¹, Fabián Islas-Gutiérrez^{2*}, Tomás Pineda-Ojeda², Carlos Leopoldo Cántora-González¹, Juan Uriel Avelar Roblero¹

Fecha de recepción/Reception date: 15 de octubre de 2025.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 23 de enero de 2026.

¹Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle de México. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: islas.fabian@inifap.gob.mx

*Corresponding author; e-mail: islas.fabian@inifap.gob.mx

Resumen

Las plantaciones forestales sobresalen entre los trabajos más frecuentes en México para combatir la deforestación y recuperar las áreas degradadas. Sin embargo, los resultados de esos esfuerzos, medidos en la supervivencia de las plantas, no superan 70 %. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de un antitranspirante (AT), un retenedor de humedad (RH), un fertilizante (F) y sus diferentes combinaciones (AT-RH, AT-F, RH-F, AT-RH-F) sobre la supervivencia, crecimiento en altura total y diámetro del cuello iniciales en *Pinus greggii*. El experimento se estableció en el Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México. El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro repeticiones y las unidades experimentales se conformaron de nueve plantas. Las variables se midieron mensualmente de agosto de 2023 a febrero de 2024. Los datos de supervivencia se analizaron con un Modelo lineal generalizado. El crecimiento en altura y diámetro de cuello se analizó mediante Modelos mixtos con un enfoque de medidas repetidas. Respecto a la supervivencia, AT resultó estadísticamente diferente a F. En cuanto al crecimiento en altura, AT es diferente a RH. Finalmente, en el crecimiento en diámetro de cuello, F resultó diferente a AT. Se concluye que la aplicación de AT tiene el mejor efecto en la supervivencia, y el crecimiento en diámetro de cuello y altura. La aplicación de F puede tener un efecto negativo en la sobrevivencia, variable que es fundamental en plantaciones forestales.

Palabras clave: Altura de planta, antitranspirante, diámetro de cuello, fertilización, reforestación, retenedor de agua.

Abstract

Forest plantations stand out among the most frequent activities in Mexico to combat deforestation and restore degraded forest areas. However, the results of these efforts, measured in terms of plant survival, have not exceeded 70 %. The objective of this study was to evaluate the effect of applying an antitranspirant (AT), a moisture retainer (RH), a fertilizer (F), and their different combinations (AT-RH, AT-F, RH-F, AT-RH-F) on the initial survival and growth in height and root collar diameter of *Pinus greggii* plants. The study was conducted at the *Valle de México* Experimental Field of the National Institute of Forest, Agriculture and Livestock Research, Mexico. The experimental design was completely randomized with four replicates and the experimental units consisted of nine plants. The variables were measured monthly from August 2023 to February 2024. Survival data were analyzed using a Generalized linear model. Growth in height and root collar diameter was analyzed using Mixed models with a repeated measures approach. Regarding survival, AT was statistically different from F. As for height growth, AT was different from RH. Finally, in root collar diameter growth, F was different from AT. It is concluded that the application of AT has the best effect on survival and growth in root collar diameter and height. The application of F can have a negative effect on survival, a crucial variable in forest plantations.

Keywords: Plant height, antitranspirant, root collar diameter, fertilization, reforestation, water retainer.

Desarrollo del tema

En México, la reforestación de áreas degradadas constituye una constante en la actividad forestal desde el siglo pasado (Prieto-Ruíz et al., 2016a); sin embargo, la supervivencia es baja (Torres-Rojo, 2021). Existen varios factores que la explican, uno de los principales es la sequía (Prieto-Ruíz et al., 2016b). Este fenómeno afecta el funcionamiento de las raíces, que son elementos cruciales para explorar el suelo y absorber agua, lo que altera la conductividad hidráulica celular y modifica su crecimiento (Maurel & Nacry, 2020).

Pinus greggii Engelm. ex Parl. es un árbol endémico de México, valioso por sus múltiples beneficios ecológicos y económicos (Ramírez-Herrera et al., 2005). Es una de las especies de coníferas más utilizadas en los programas de reforestación (Flores et al., 2021); no obstante, condiciones de sequía perjudican su crecimiento (Hernández-Pérez et al., 2001). Lo anterior motiva la investigación sobre el uso de retenedores de agua, antitranspirantes y fertilización inicial, dada la problemática de escasez de agua en México.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de un antitranspirante, un retenedor de agua y un fertilizante sobre la supervivencia, crecimiento en diámetro del cuello y altura total iniciales de *Pinus greggii*.

El estudio se realizó en el Campo Experimental Valle de México, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, localizado en Coatlinchán, Texcoco, México; cuyas coordenadas geográficas son 19°26'41.7" N y 98°53'6.1" E, a una altura de 2 275 msnm. La plantación se ubica en una parcela rectangular de 72×36 m, con superficie de 2 592 m².

Se evaluó un antitranspirante (*Vapor Gard*®, *Miller Chemical & Fertilizer*, EE. UU.), un fertilizante (fosfato diamónico, genérico) y un retenedor de agua (*Terra Sorb*®, *Bioiberica S. A. U.*, España), así como sus combinaciones, las cuales conformaron los tratamientos (Cuadro 1). El antitranspirante se aplicó por aspersión sobre el follaje (10 mL L⁻¹) un día antes de la plantación; mientras que el fertilizante fosfato diamónico (16 g planta⁻¹) y el retenedor de agua (5 g planta⁻¹) se aplicaron en el fondo de las cepas al momento de la plantación.

Cuadro 1. Tratamientos aplicados en la evaluación de la supervivencia y crecimiento inicial de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl.

Tratamiento	Descripción	Clave
1	Antitranspirante	AT
2	Retenedor de humedad	RH
3	Fertilizante	F
4	Antitranspirante+Retenedor de humedad	AT-RH
5	Antitranspirante+Fertilizante	AT-F
6	Antitranspirante+Retenedor de humedad+Fertilizante	AT-RH-F
7	Retenedor de humedad+Fertilizante	RH-F
8	Testigo	T

El diseño experimental fue completamente al azar, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones, la unidad experimental se conformó de nueve plantas en una superficie cuadrada de 4.5×4.5 m.

Las evaluaciones se hicieron mensualmente, iniciaron seis días después de realizada la plantación, en agosto de 2023, y culminaron en febrero de 2024. La supervivencia se registró por conteo directo (vivo o muerto), el diámetro de cuello (mm) se midió con un vernier digital marca *Steren*[®] modelo HER-411 y la altura de la planta (cm) con una regla graduada de 50 cm.

Para el análisis de la supervivencia se utilizó el Modelo Lineal Generalizado. En este caso, se consideró la variable respuesta Y correspondiente a una variable aleatoria *Bernoulli* con probabilidad de Éxito= p y de Fracaso= $1-p$ en donde el Éxito representó supervivencia de la planta de interés al finalizar el experimento, y Fracaso la no supervivencia. Bajo esa consideración, se modeló el conjunto de respuestas Y_{ijk} mediante un Modelo Lineal Generalizado con respuesta binaria Y_{ijk} , componente lineal asociado al efecto de tratamientos y función liga identidad, es decir se consideró que $Y_i \sim \text{Bin}(n_i, \pi_i)$, $i=1, \dots, 8$. En la expresión anterior, n_i es el tamaño de muestra asociado con las observaciones bajo el tratamiento i -ésimo, mientras que π_i es la probabilidad de Éxito, condicionada por el nivel del tratamiento indicado. La estimación de parámetros y efectos se realizó mediante el método de máxima verosimilitud usando el procedimiento *GENMOD* del sistema SAS versión 9.4 (SAS Institute Inc., 2023).

El estadístico del cociente de verosimilitudes generalizado indicó la existencia de un efecto diferenciado de tratamientos ($p < 0.0174$), de forma tal que la evidencia experimental supone que por lo menos una estimación $\hat{\pi}_i$ es estadísticamente diferente de las demás. Para decidir cuáles estimaciones $\hat{\pi}_i$ pueden considerarse estadísticamente diferentes entre sí, se hizo una comparación entre pares de estas, mediante el criterio de cociente de verosimilitudes para los modelos reducido y completo; la estimación en el modelo reducido considera la igualdad paramétrica del par contrastado, mientras que el modelo completo se estima considerando que los parámetros $\hat{\pi}_i$ son diferentes.

El tratamiento AT (86.1 %) presentó el mayor porcentaje de supervivencia, seguido del RH (80.6 %), aunque no hubo diferencia significativa entre ambos. El tratamiento F registró el menor porcentaje (55.6 %) (Cuadro 2), pero no tuvo diferencias significativas con AT y el RH en combinación con F y AT. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Albaugh *et al.* (2004) en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. La baja supervivencia del tratamiento AT-RH-F puede atribuirse a interacciones negativas entre ellos, que generan estrés fisiológico.

Cuadro 2. Agrupamiento de estimaciones de acuerdo con el Criterio de cociente de verosimilitudes generalizado ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Estimación	Grupo		
AT	0.8611	a		
RH	0.8056	a	b	
AT-F	0.7778	a	b	c
AT-RH	0.6944	a	b	c d
RH-F	0.6111		b	c d
AT-RH-F	0.5833		c	d
T	0.5833		c	d
F	0.5556			d

AT = Antitranspirante; RH = Retenedor de humedad; F = Fertilizante; T = Testigo.

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha<0.05$).

Para decidir si hubo efecto de los tratamientos estudiados sobre el crecimiento en diámetro y altura se realizó un análisis de medidas repetidas bajo el enfoque del modelo lineal de efectos mixtos (Diggle *et al.*, 2002):

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \delta_{k(i)} + \beta T_j + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor de la variable respuesta de interés observada, diámetro o altura, en el mes j y en la unidad experimental k

τ_i = Efecto del tratamiento i -ésimo

$\delta_{k(i)}$ = Variable aleatoria asociada a la unidad experimental j bajo el tratamiento i -ésimo

β = Coeficiente de regresión lineal

T_j = Mes j

ϵ_{ijk} = Término de error

En este caso $i=1,\dots,8$; $j=1,\dots,7$; $k=1,\dots,4$; y en forma matricial, el modelo mixto considerado es de la forma $Y=X\beta+ZU+\epsilon$, en el cual los efectos de tratamientos y tiempo son fijos y representados por el componente $X\beta$, mientras que el vector aleatorio U tiene componentes $\delta_{k(i)}$ y se distribuye normalmente con vector de medias 0 y matriz de varianzas y covarianzas Σ asociada a un proceso autoregresivo de orden 1; es decir, $AR(1)$. Se considera que el vector de errores ϵ es normalmente distribuido con vector de medias 0 y matriz de varianzas y covarianzas $\sigma^2 I_n$, el cual es independiente del vector de efectos aleatorios U .

La elección de la estructura de covarianzas $AR(1)$ resultó de comparar el valor del criterio de información de Akaike (AIC) para varias estructuras de covarianza. En ambos casos, diámetro y altura, tal valor fue menor para el modelo $AR(1)$, comparado con el valor asociado a las estructuras de covarianza de simetría compuesta y no estructurada.

Las estimaciones se obtuvieron mediante el procedimiento *MIXED* del sistema *SAS* versión 9.4 (SAS Institute Inc., 2023), con base en la estimación por Máxima Verosimilitud Restringida (*REML*).

Con respecto a la altura, los resultados de las estimaciones indican que existe diferencia significativa entre los efectos fijos $\mu + \tau_i + \beta T_j$ ($p < 0.0001$), y la comparación

entre medias de cuadrados mínimos, $\tilde{Y}_i = \widehat{\mu + \tau_i} + \hat{\beta}\bar{T}$, asociadas a los efectos estimados, implica que las diferencias $\tilde{Y}_1 - \tilde{Y}_2$ y $\tilde{Y}_2 - \tilde{Y}_3$ son estadísticamente distintas de cero, $p=0.04$. La estimación del coeficiente auto-regresivo $\hat{\rho}=0.91$ es estadísticamente diferente de cero ($p<0.0001$), mientras que la del coeficiente de regresión lineal fue $\hat{\beta}=0.53$ y también estadísticamente no cero ($p<0.0001$).

Los tratamientos que tuvieron mayores crecimientos en altura fueron AT (37.5 cm) y F (37.48 cm), aunque no fueron estadísticamente diferentes al resto de tratamientos, excepto RH (34.94 cm) que fue el que menor altura alcanzó (Cuadro 3), probablemente debido a que el retenedor de humedad auxilia para mantener la planta hidratada y eso favorece la supervivencia. Sin embargo, el crecimiento se relaciona con la disponibilidad de nutrientes en el suelo que promueven el desarrollo radical (Hernández *et al.*, 2021). Los resultados del presente estudio concuerdan con el efecto no significativo de varias dosis de hidrogel sobre el crecimiento de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. durante la época de sequía (Fuentes-Sandoval & Rodríguez-Méndez, 2024).

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos para altura y diámetro de cuello de los tratamientos evaluados y agrupamiento de acuerdo con la diferencia significativa mínima.

Tratamiento	Altura (cm)	Grupo	Diámetro de cuello (mm)	Grupo
AT	37.50	a	6.01	a b
RH	34.95	b	5.89	a b
F	37.48	a	6.72	a
AT-RH	35.92	a b	5.78	b
AT-F	35.82	a b	5.94	a b
AT-RH-F	37.03	a b	5.95	a b
RH-F	35.57	a b	6.00	a b
T	36.04	a b	5.72	b

AT = Antitranspirante; RH = Retenedor de humedad; F = Fertilizante; T = Testigo.

Tratamientos con letras distintas indican diferencias significativas ($\alpha<0.05$).

Con respecto al diámetro de cuello, los resultados indican que existen diferencias significativas entre medias asociadas a los efectos fijos ($p < 0.0001$), que el efecto de regresión lineal de diámetro sobre edad es significativo ($p < 0.0001$), y el coeficiente de la autoregresión ($\hat{\rho} = 0.35$) también es estadísticamente no cero ($p < 0.0001$). En este caso las diferencias entre medias de cuadrados mínimos estadísticamente diferentes de cero son $\tilde{Y}_3 - \tilde{Y}_4$ y $\tilde{Y}_3 - \tilde{Y}_8$, con valores $p = 0.0375$ y $p = 0.0288$ respectivamente. Es decir, el efecto del tratamiento F resultó diferente de los efectos de los tratamientos T y AT-RH, similar a lo referido por Mason (2004) en plántulas de *Pinus radiata*.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la aplicación de antitranspirante tiene un efecto positivo en la supervivencia, el diámetro de cuello y la altura; que el fertilizante no presentó efectos positivos en la supervivencia de los brinzales; sin embargo, si hubo un efecto positivo en el crecimiento de diámetro de cuello y la altura de la planta.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el apoyo brindado para realizar el proyecto de investigación descrito.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Anayetzi Badillo-Hernández y Yenifer Eliseo-Quintero: conceptualización de la investigación y redacción; Fabián Islas-Gutiérrez: toma y análisis de datos, redacción y revisión del manuscrito; Tomás Pineda-Ojeda: conceptualización de la investigación, toma de datos y revisión del manuscrito; Carlos Leopoldo Cántora-González: análisis estadístico de los datos y revisión del manuscrito; Juan Uriel Avelar-Roblero: revisión del manuscrito.

Referencias

- Albaugh, T. J., Rubilar, R., Álvarez, J., & Allen, H. L. (2004). Radiata pine response to tillage, fertilization, and weed control in Chile. *Bosque*, 25(2), 5-15. <https://www.scielo.cl/pdf/bosque/v25n2/Art02.pdf>
- Diggle, P. J., Heagerty, P. J., Liang, K.-Y., & Zeger, S. L. (2002). *Analysis of longitudinal data*. Oxford University Press. https://books.google.com.mx/books?id=mntoAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Flores, A., Romero-Sánchez, M. E., Pérez-Miranda, R., Pineda-Ojeda, T., & Moreno-Sánchez, F. (2021). Potencial de restauración de bosques de coníferas en zonas de movimiento de germoplasma en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(63), 4-27. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.813>
- Fuentes-Sandoval, L. A., & Rodríguez-Méndez, J. A. (2024). Efecto del hidrogel como retenedor de agua en el establecimiento de una plantación de *Pinus oocarpa* durante 6 meses en el sector 1 del bosque universitario de UNACIFOR, Honduras. *TATASCÁN*, 32(1), 40-48. <https://doi.org/10.5377/tatascn.v32i1.19311>
- Hernández, J., Quiroz, I., Pincheira, M., & Gacitúa, S. (2021). Efecto de la fertilización nitrogenada y fosforada en plantas de Raulí sobre su respuesta fisiológica, crecimiento,

- producción de brotes y enraizamiento de estacas. *Ciencia & Investigación Forestal*, 27(2), 69-83. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.550>
- Hernández-Pérez, C., Vargas-Hernández, J. J., Ramírez-Herrera, C., & Muñoz-Orozco, A. (2001). Variación geográfica en la respuesta a la sequía en plántulas de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Ciencia Forestal en México*, 26(89), 61-79. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/919>
- Mason, E. G. (2004). Effects of soil cultivation, fertilisation, initial seedling diameter and plant handling on the development of maturing *Pinus radiata* D. Don on Kaingaroa gravelly sand in the Central North Island of New Zealand. *Bosque*, 25(2), 43-55. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002004000200005>
- Maurel, C., & Nacry, P. (2020). Root architecture and hydraulics converge for acclimation to changing water availability. *Nature Plants*, 6, 744-749. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-0684-5>
- Prieto-Ruíz, J. Á., Aldrete, A., Sánchez-Velázquez, J. R., & Hernández-Díaz, J. C. (2016a). Antecedentes de la reforestación en México. En J. Á. Prieto-Ruíz & J. R. Goche-Télles (Comps.), *Las reforestaciones en México. Problemática y alternativas de solución* (pp. 13-25). Universidad Juárez del Estado de Durango. https://forestales.ujed.mx/forestales/es/contenido/eventos_documentos/LIBRO_REFORESTACIONES_EN_MEXICO.pdf
- Prieto-Ruíz, J. Á., Aldrete, A., Hernández-Díaz, J. C., & Goche-Télles, J. R. (2016b). Causas de la mortalidad de las reforestaciones y propuestas de mejora. En J. Á. Prieto-Ruíz & J. R. Goche-Télles (Comps.), *Las reforestaciones en México. Problemática y alternativas de solución* (pp. 55-65). Universidad Juárez del Estado de Durango. https://forestales.ujed.mx/forestales/es/contenido/eventos_documentos/LIBRO_REFORESTACIONES_EN_MEXICO.pdf
- Ramírez-Herrera, C., Vargas-Hernández, J. J., & López-Upton, J. (2005). Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta Botánica Mexicana*, (72), 1-16. <https://doi.org/10.21829/abm72.2005.997>
- SAS Institute Inc. (2023). SAS 9.4 [Software]. SAS Institute Inc. <https://support.sas.com/software/94/>

Torres-Rojo, J. M. (2021). Factores ambientales y físicos que afectan la supervivencia de siete especies forestales en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(64), 66-91. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i64.831>



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.