



# Efecto de diferentes tipos de sales en el desarrollo de brinzales de *Pinus greggii* var. *australis*

Effect of different types of salts on the development of *Pinus greggii* var. *australis* saplings

César Ortiz Torres<sup>1</sup>, Armando Gómez Guerrero<sup>\*</sup>, Héctor Manuel Ortega Escobar<sup>1</sup>,  
Javier López Upton<sup>1</sup>, Francisca Ofelia Plascencia Escalante<sup>1</sup> y Tomás Martínez Trinidad<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México, México

\* Autor de correspondencia. [agomezg@colpos.mx](mailto:agomezg@colpos.mx)

## RESUMEN

Se estudió el efecto de sales en el desarrollo de brinzales de *Pinus greggii* var. *australis* durante 172 días. Se probaron las sales: clorhídrica, sulfática y sulfático-sódica, incluyendo un tratamiento testigo de agua destilada. De estas, se generaron conductividades eléctricas de 3 dS m<sup>-1</sup>, 6 dS m<sup>-1</sup>, 9 dS m<sup>-1</sup> y 12 dS m<sup>-1</sup>. Se analizó la evolución del incremento en diámetro y altura de los brinzales. Al final del experimento se compararon los tratamientos con respecto al incremento total en diámetro y altura, biomasa radical e índice de calidad de Dickson, y se observaron cortes transversales de raíces de primer orden por microscopía electrónica de barrido (MEB). Se encontró que los tratamientos con niveles de salinidad de 3 dS m<sup>-1</sup>, para todos los tipos de sales, fueron los que menos afectaron el desarrollo de los brinzales, mientras que la sal clorhídrica con 12 dS m<sup>-1</sup> fue la que más afectó el desarrollo de los brinzales. Por otro lado, las imágenes por MEB mostraron que en la sección de la corteza en la raíz no hubo presencia de gránulos de almidón cuando se trataron con niveles de salinidad de 12 dS m<sup>-1</sup>, mientras que en el tratamiento testigo sí. Estos resultados sugieren que *P. greggii* var. *australis* tolera niveles de salinidad menores a 3 dS m<sup>-1</sup> y su crecimiento se afecta cuando los niveles de salinidad aumentan, generando plantas con parámetros morfológicos no deseados.

PALABRAS CLAVE: almidón, clorhídrica, microscopía, salinidad, sulfática, sulfático-sódica.

## ABSTRACT

The effect of salts on the development of *Pinus greggii* var. *australis* saplings was studied for 172 days. Three types of salts: chloride, sulfate, and sulfate-sodium were tested along with a control treatment of distilled water. Electrical conductivities for each salt were 3 dS m<sup>-1</sup>, 6 dS m<sup>-1</sup>, 9 dS m<sup>-1</sup>, and 12 dS m<sup>-1</sup>. Trajectories of diameter and height increments were analyzed. At the end of the experiment, treatments were compared according to the total increments in diameter and height, root biomass, and the Dickson quality index, in addition to observing first-order root cross sections by scanning electron microscopy (SEM). Treatments with salinity levels of 3 dS m<sup>-1</sup> for all types of salts were those that least affected sapling growth, while chloride salt with 12 dS m<sup>-1</sup> was the one that most affected sapling growth. On the other hand, SEM images showed that no starch granules were present in the root section of the cortex when treated with salinity levels of 12 dS m<sup>-1</sup>, while they were present in the control treatment. These results suggest that *P. greggii* var. *australis* tolerates salinity levels lower than 3 dS m<sup>-1</sup> and its growth is affected when salinity levels increase, generating poor plant standards.

KEYWORDS: starch, chloride, sulfate, microscopy, salinity, sulfate-sodium.

## INTRODUCCIÓN

La salinización afecta tanto tierras agrícolas como forestales (Dagar et al., 2001). En el mundo existen más de mil millones de hectáreas afectadas por salinización (Ivushkin et al., 2019). Se estima que en México hay 2 millones de hectáreas que presentan esta problemática y están distribuidas tanto en ecosistemas naturales (cuencas cerradas, zonas áridas y áreas costeras) como en zonas de regadío (Pla Sentís, 2021), estas últimas son afectadas principalmente por la utilización de aguas subterráneas con un alto contenido de sales que impiden el desarrollo de plantas no tolerantes a esta condición.

La salinidad afecta el crecimiento y rendimiento de los cultivos y el desarrollo de los árboles (Hayward y Wadleigh, 1949). La tolerancia a la salinidad en las especies se da de manera inter e intraespecífica (Cony y Trione, 1998). Por esta razón, es importante investigar los diferentes tipos y niveles de salinidad que pueden tolerar los árboles, en particular en especies arbóreas como *Pinus greggii* Engelm. ex Parlatore; una de las especies más utilizadas en las reforestaciones de México (Burney et al., 2015). El conocimiento sobre la tolerancia a la salinidad ayuda a la toma de decisiones en la reforestación. Por ejemplo, se han identificado los umbrales de tolerancia de diversas especies de pinos utilizadas para reforestación de áreas degradadas o en áreas urbanas en China; de tal manera que *Pinus taeda* L. y *P. elliotii* Engelm, toleraran hasta 5 dS m<sup>-1</sup> de NaCl (Zhang y Yu, 2019).

De manera experimental, la sal más utilizada para determinar los efectos de salinidad en plantas es el NaCl (Nedjimi, 2017). Sin embargo, pueden existir combinaciones de diferentes sales solubles que expresan diferentes tipos de mezclas como son la clorhídrica, sulfática o sulfático-sódica de acuerdo con la geología y procesos de salinización de cada lugar (Kovda, 1973). Estas sales afectan de manera distinta a las plantas que son expuestas a ellas debido a que generan diferentes presiones osmóticas que dificultan la adsorción de agua (Strogonov, 1962; Can-Chulim et al., 2017).

*P. greggii* var. *australis* Donahue & Lopez es una especie nativa de México ampliamente utilizada en reforestaciones y plantaciones forestales. Se distribuye en el centro este de México en zonas semiáridas y semitropicales de Puebla, Veracruz, Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí (Hernández-Martínez et al., 2007; Ramírez-Herrera et al., 2005). Es una planta que tolera sequía (López-Upton y Muñoz, 1991) y que se establece en suelos degradados y ligeramente alcalinos (Gómez-Romero et al., 2012; Reyes-Estevés et al., 2022). Existen antecedentes de que *P. greggii* tolera baja salinidad (Mohedano-Caballero et al., 2005), sin embargo, la respuesta combinada a diferentes tipos de sales y niveles aún requiere más estudios. Árboles de los géneros *Casuarina*, *Eucalyptus* y *Tamarix* son comúnmente propuestos para mejorar las condiciones de suelos salinos del exlago de Texcoco. Sin embargo, es necesario tener otras opciones de árboles que se usen para enriquecer la estructura arbórea y diversidad específica en áreas degradadas por salinidad. Este estudio aporta conocimiento adicional sobre la tolerancia de *P. greggii* var. *australis* a diferentes condiciones de salinidad y provee información básica sobre su comportamiento en sustratos afectados por salinidad como las que se presentan en exlagos o en regiones áridas. La hipótesis planteada, es que el desarrollo de *P. greggii* no se afecta debido a la exposición de las salinidades clorhídrica, sulfática y sulfático-sódica; así como a niveles de salinidad de hasta 12 dS m<sup>-1</sup>.

## OBJETIVOS

Conocer la respuesta en crecimiento de brinzales de *P. greggii* var. *australis* a sales clorhídrica, sulfática y sulfático-sódica, con cuatro niveles de salinidad bajo condiciones controladas de invernadero que permitan que la planta manifieste el efecto directo del tipo de sal y sus concentraciones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del experimento

El experimento fue realizado en un vivero ubicado en Texcoco, Estado de México en las coordenadas 19° 27' 37"



N y 98° 54' 24" O, a 2240 m de altitud. Las condiciones de crecimiento fueron bajo malla sombra a 50%, a cielo abierto para disminuir la condición de estrés por radiación solar y así poder observar el efecto de los diferentes tipos de sales utilizadas. No se aplicó ningún tipo de fertilización al sustrato, el cual se hizo a base de corteza de pino composteada y suelo de monte. Los brinzales de *P. greggii* var. *australis* fueron de un año de edad producidos en un vivero de Acaxochitlán, Hidalgo, México. Las plantas se trasplantaron a bolsas de 1 L y durante dos meses se aplicaron riegos cada cuatro días para su aclimatación. Antes de dar inicio al experimento, las bolsas se sellaron con cinta para ducto para evitar fugas al momento de aplicar las sales en solución y los riegos con agua destilada. Una vez selladas, a cada planta se le aplicaron un total 480 mL de solución salina aplicadas en cuatro dosis de 120 mL cada tercer día, las cuales se establecieron a partir de pruebas de saturación para el sustrato con la finalidad de que las bolsas fueran saturadas de sales en solución.

### Tratamientos utilizados

Los tratamientos consistieron en tres tipos de sales (TS) a partir de las siguientes relaciones aniónicas: clorhídrica (Cl),  $\text{Cl}/\text{SO}_4 = 2.5$ , mezcla de NaCl y  $\text{MgSO}_4$ ; sulfática (S),  $\text{Cl}/\text{SO}_4 = 0.15$ , mezcla de NaCl y  $\text{MgSO}_4$ ; sulfático-sódica (SS),  $\text{HCO}_3^-/(\text{Cl} + \text{SO}_4^{2-}) = 2.0$ , mezcla de  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{MgCl}_2$  y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . El tratamiento testigo (T), consistió solamente de agua destilada. Los niveles de salinidad (NS) de los TS se prepararon hasta alcanzar una conductividad eléctrica (CE;  $\text{dS m}^{-1}$ ) de 3, 6, 9 y 12, con base en la metodología propuesta por Arinushkina (Kovda, 1947). El diseño utilizado en el experimento fue en bloques al azar generalizados, bloqueando por el posible gradiente de intensidad de luz de Oeste a Este en el lugar de trabajo. Para cada combinación de TS y NS, así como del testigo, se tuvieron cuatro repeticiones.

Las variables de crecimiento de cada brinzal se midieron cada mes durante 172 días. Por lo tanto, se compararon las tendencias del incremento en diámetro cada 30 días ( $\text{ID}_{30}$ ) e incremento en altura cada 30 días

( $\text{IA}_{30}$ ) con respecto al tipo y nivel de sal. Como diferencia del tiempo inicial y final (después de 172 días del experimento) se calculó el incremento en diámetro ( $\text{ID}_{172}$ ) y el incremento en altura ( $\text{IA}_{172}$ ). Además de estos dos, la biomasa radical ( $\text{BR}_{172}$ ) y el índice de calidad de Dickson ( $\text{ICD}_{172}$ ) a 172 días fueron analizados.

### Manejo del experimento

Una vez aplicados los tratamientos, se realizaron riegos con agua destilada cada tercer día para reponer el agua perdida por evapotranspiración y mantener la concentración de sales en el sustrato de las bolsas. Para determinar el agua perdida se midió la humedad del sustrato con un medidor de humedad del suelo TDR 300 Fieldscout y el peso de las bolsas con árboles con una báscula de 2 kg de alcance y 0.1 g de resolución.

El experimento se realizó entre el 15 de noviembre de 2019 y el 5 de mayo de 2020. Cada mes se midió el diámetro a la base y la altura del tallo. Al finalizar el experimento se utilizó un método destructivo para evaluar los pesos fresco y seco de la raíz (PFR, PSR), y fresco y seco de la parte aérea (PFA, PSA), así como diámetro y altura finales. A los 172 días, cuando finalizó el experimento, se calculó el incremento en diámetro ( $\text{ID}_{172}$ ) y en altura ( $\text{IA}_{172}$ ), la biomasa radical y el índice de calidad de Dickson (Dickson et al., 1960).

Con la finalidad de determinar los efectos de las sales en las raíces, se recolectaron tres muestras de raíces nuevas (de primer orden) del testigo y de cada tipo de sal a  $12 \text{ dS m}^{-1}$ . Se observó la superficie de cortes transversales de las raíces por medio de microscopía electrónica de barrido (MEB). De las muestras se cortaron segmentos de raíz de 3 mm de longitud utilizando navajas de doble filo, se fijaron en soluciones de glutaraldehído a 3% en amortiguador de fosfatos Sorenses (0.1 M, pH 7.2) durante 78 h a 4 °C. Posteriormente, se postfijaron en tetraóxido de osmio (1%) en agua durante 1 h. La deshidratación de las muestras se realizó en una serie graduada de etanol, 40 min en cada cambio, para después pasar al secado de punto crítico con  $\text{CO}_2$  (Samdri-780 A, USA). Se montaron en porta muestras

de cobre y el recubrimiento de las muestras fue con una aleación oro:paladio (80:20) por pulverización catódica (Ion Sputter JFC-1100, Jeol, Fine Coat, Japan). Las superficies de las muestras se observaron con un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-6390 (JEOL, Japón) operado a 10 kV (López-Mora et al., 2013).

### Análisis estadístico

Se verificó que los datos cumplieran con el supuesto de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilks; cuando no fue el caso, se usaron transformaciones de Box-Cox (LaLonde, 2012). La comparación de las tendencias en el tiempo de los tratamientos se realizó mediante un análisis de varianza de medidas repetidas en el tiempo. En este análisis se verificó el supuesto de esfericidad utilizando el criterio de Mauchly para determinar si se utilizaba el estadístico Lambda de Wilks como indicador de la significancia de los efectos de tratamiento. Así también, se realizó un análisis de varianza de una vía a la BR<sub>172</sub> y al ICD<sub>172</sub> y se compararon los tratamientos contra el testigo, mediante la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

## RESULTADOS

### Efecto en el incremento en diámetro (ID<sub>30</sub>) y altura (IA<sub>30</sub>) en el tiempo

El análisis de medidas repetidas indicó que el índice más apropiado para valorar la significancia de los factores fue el de Lambda de Wilks. Para este análisis estadístico no fue incluido el tratamiento testigo debido a que solo se quería

observar el efecto entre los niveles y tipos de salinidad, además de que la tendencia del tratamiento testigo fue siempre estadísticamente diferente a los demás tratamientos. Se encontró evidencia significativa de cambios a través del tiempo para las variables diámetro y altura ( $p < 0.0001$ ). La única interacción estadísticamente significativa para diámetro y altura fue Tiempo\*NS, indicando mayor importancia del nivel de salinidad que del tipo de sal. Así también, se encontró que, para el diámetro, al menos una combinación de tratamiento tuvo un efecto distinto a las demás a través del tiempo ( $p = 0.0469$ ) (Tabla 1); aunque esta significancia es marginalmente significativa.

Los análisis de varianza generados para cada 30 días (Tabla 2) indicaron que, a partir de los 60 días, los niveles de salinidad y al menos una combinación de tipo y nivel de salinidad presentaron un efecto diferente a las demás en el desarrollo del diámetro ( $p < 0.001$ ). Para el incremento en altura, solo se observaron efectos con los niveles de salinidad y estos se presentaron a partir de los 120 días (Tabla 2).

### Efectos en ID<sub>172</sub>, IA<sub>172</sub>, BR<sub>172</sub> e ICD<sub>172</sub> al final del experimento

Todos los análisis de varianza para las distintas variables evaluadas mostraron diferencias significativas en los niveles de salinidad ( $p < 0.0001$ ). Para el tipo de sal solo en IA<sub>172</sub> ( $p < 0.05$ ) y BR<sub>172</sub> ( $p = 0.0004$ ) se encontraron diferencias significativas. Las interacciones no fueron significativas para ninguna variable respuesta (Tabla 3).

TABLA 1. Significancia de efectos en el tiempo y sus interacciones para el diámetro y altura ( $p < 0.05$ ) de plantas de *P. greggii* var. *australis* sometidas a distintas sales por 172 días.

Hipótesis de no efecto	Lambda de Wilks	
	ID <sub>30</sub>	IA <sub>30</sub>
Tiempo	< 0.0001	< 0.0001
Tiempo*TS	0.0825	0.1655
Tiempo*NS	0.0001	0.0220
Tiempo*NS*TS	0.0469	0.6194

Valores de  $p \leq 0.0001$  son altamente significativos. TS = Tipo de sal, NS = Nivel de salinidad



TABLA 2. Significancia de efectos para los tratamientos a distintos días de establecido el experimento a distintas sales por 172 días en plantas de *P. greggii* var. *australis* en las variables diámetro y altura ( $p < 0.05$ ).

Día	ID <sub>30</sub>			IA <sub>30</sub>		
	TS Pr > F	NS Pr > F	TS*NS Pr > F	TS Pr > F	NS Pr > F	TS*NS Pr > F
30	0.9144	0.0979	0.1025	0.0954	0.6484	0.2051
60	0.4478	0.0006	0.0192	0.0852	0.1114	0.1890
90	0.2745	< 0.0001	0.0059	0.1333	0.1198	0.5629
120	0.3644	< 0.0001	0.0035	0.2025	0.0376	0.9576
150	0.1901	< 0.0001	0.0067	0.1056	0.0007	0.7357

TS = tipo de sal, NS = nivel de salinidad, y TS\*NS = interacción tipo de sal y nivel de salinidad.

TABLA 3. Significancia en las variables evaluadas después de 172 días en plantas de *P. greggii* var. *australis* sometidas a distintos niveles y tipos de sales ( $p < 0.05$ ).

Factor	gl	ID <sub>172</sub>	IA <sub>172</sub>	BR <sub>172</sub>	ICD <sub>172</sub>
NS	4	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
TS	2	0.2560	0.0337	0.0004	0.1077
TS*NS	6	0.2116	0.7426	0.2746	0.2361

gl = grados de libertad, ID<sub>172</sub> = incremento en diámetro, IA<sub>172</sub> = incremento en altura, BR<sub>172</sub> = biomasa radical, ICD<sub>172</sub> = índice de calidad de Dickson, todos al final del experimento (172 días).

## Comparación entre tratamientos para los tipos de sales y niveles de salinidad al final del experimento

### Incremento en diámetro (ID<sub>172</sub>)

Las sales clorhídricas, sulfática y sulfático-sódica presentaron un efecto similar en el desarrollo del diámetro al final del experimento y fueron diferentes a los tratamientos testigo, los cuales presentaron mayores incrementos en diámetro (Tabla 4).

Los brinzales testigo y de nivel 3 dS m<sup>-1</sup> presentaron efectos similares en el diámetro, con los mayores incrementos al término del experimento (Tabla 5). Los tratamientos con los niveles de salinidad más altos (9 dS m<sup>-1</sup> y 12 dS m<sup>-1</sup>) tuvieron los incrementos en diámetro más bajos y fueron significativamente distintos al testigo y al tratamiento de 3 dS m<sup>-1</sup>.

### Incremento en altura

Los distintos tipos de sales no mostraron diferencias significativas entre sí. Sin embargo, los valores promedio de IA<sub>172</sub> en los brinzales testigo fueron mayores a los tratados con soluciones de cloro (Tabla 4).

Al comparar únicamente los niveles de salinidad, los tratamientos testigo, 3 dS m<sup>-1</sup> y 6 dS m<sup>-1</sup> presentaron efectos similares y fueron significativamente distintos al tratamiento de 12 dS m<sup>-1</sup> (Tabla 5). La media del tratamiento de 3 dS m<sup>-1</sup> fue ligeramente superior al testigo. En general, hubo un efecto decreciente en la altura de los brinzales conforme el nivel de salinidad aplicado aumentaba.

### Biomasa radical (BR<sub>172</sub>)

Los tipos de sales sulfática y sulfático-sódica presentaron efectos similares y sus medias fueron significativamente menores al tratamiento testigo y mayores a la sal clorhídrica (Tabla 4).

TABLA 4. Comparación de medias entre el testigo y los tratamientos con diferentes tipos de sal después de 172 días en plantas de *P. greggii* var. *australis* (valores medios y error estándar).

Tipos de sal	ID <sub>172</sub> (mm)	IA <sub>172</sub> (cm)	BR <sub>172</sub> (g)	ICD <sub>172</sub> media
Testigo	3.95 ± 0.31 <sup>a</sup>	18.00 ± 1.09 <sup>a</sup>	15.03 ± 1.84 <sup>a</sup>	4.23 ± 0.58 <sup>a</sup>
SS	2.84 ± 0.24 <sup>b</sup>	13.04 ± 1.26 <sup>a</sup>	9.49 ± 0.74 <sup>b</sup>	2.76 ± 0.29 <sup>b</sup>
S	2.35 ± 0.21 <sup>b</sup>	18.06 ± 2.45 <sup>a</sup>	9.87 ± 0.79 <sup>b</sup>	2.65 ± 0.19 <sup>b</sup>
Cl	2.69 ± 0.42 <sup>b</sup>	13.59 ± 1.67 <sup>a</sup>	6.79 ± 0.78 <sup>c</sup>	2.26 ± 0.29 <sup>b</sup>

SS = sulfático-sódica, S = sulfática, Cl = clorhídrica; variables evaluadas después de 172 días: ID<sub>172</sub> = incremento en diámetro, IA<sub>172</sub> = incremento en altura, BR<sub>172</sub> = biomasa radical, ICD<sub>172</sub> = índice de calidad de Dickson. Letras distintas entre filas indican diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ).

TABLA 5. Comparación de medias entre el testigo y los distintos niveles de salinidad después de 172 días en plantas de *P. greggii* var. *australis* (valores medios y error estándar).

Nivel de Salinidad	ID <sub>172</sub> (mm)	IA <sub>172</sub> (cm)	BR <sub>172</sub> (g)	ICD <sub>172</sub> media
Testigo	3.95 ± 0.31 <sup>a</sup>	18.00 ± 1.09 <sup>a</sup>	15.03 ± 1.84 <sup>a</sup>	4.23 ± 0.58 <sup>a</sup>
3 dS m <sup>-1</sup>	3.68 ± 0.34 <sup>a</sup>	19.65 ± 1.57 <sup>a</sup>	10.72 ± 0.86 <sup>a</sup>	3.24 ± 0.34 <sup>ab</sup>
6 dS m <sup>-1</sup>	3.11 ± 0.19 <sup>ab</sup>	17.64 ± 2.62 <sup>a</sup>	10.34 ± 0.68 <sup>ab</sup>	3.07 ± 0.18 <sup>ab</sup>
9 dS m <sup>-1</sup>	2.43 ± 0.20 <sup>b</sup>	14.48 ± 1.58 <sup>ab</sup>	7.17 ± 0.68 <sup>bc</sup>	2.15 ± 0.19 <sup>b</sup>
12 dS m <sup>-1</sup>	1.29 ± 0.19 <sup>c</sup>	7.83 ± 1.23 <sup>b</sup>	6.64 ± 1.01 <sup>c</sup>	1.77 ± 0.25 <sup>b</sup>

Variables evaluadas después de 172 días: ID<sub>172</sub> = incremento en diámetro, IA<sub>172</sub> = incremento en altura, BR<sub>172</sub> = biomasa radical, ICD<sub>172</sub> = índice de calidad de Dickson. Letras distintas entre filas indican diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ).

En los niveles de salinidad, los brinzales tratados con 3 dS m<sup>-1</sup> tuvieron valores estadísticos similares al testigo (Tabla 5). Las plantas bajo niveles de salinidad de 9 dS m<sup>-1</sup> y 12 dS m<sup>-1</sup> presentaron un menor desarrollo radical respecto a los brinzales testigo y 3 dS m<sup>-1</sup>. La producción de biomasa radical presentó un gradiente, en donde, los menores niveles produjeron una mayor cantidad de biomasa radical y los niveles mayores menor cantidad.

#### Índice de calidad de Dickson (ICD<sub>172</sub>)

Todos los tipos de sales tuvieron efectos similares y presentaron valores del índice de calidad de Dickson bajos en comparación con las plantas testigo (Tabla 4). Los tratamientos con niveles de salinidad de 9 dS m<sup>-1</sup> y 12 dS m<sup>-1</sup> fueron los que tuvieron un efecto más adverso en el índice de calidad (Tabla 5). Al igual que en las otras variables

evaluadas, se observó que con el aumento de los niveles de salinidad se afectaba la calidad morfológica de la planta.

#### Observación en microscopía electrónica de barrido (MEB)

Al analizar el tejido en cortes de la raíz para los tres tipos de sales (Fig. 1a, b, c), se observó una mayor presencia de gránulos de almidón en las plantas testigo (Fig. 1d) en comparación con las plantas que crecieron en ambientes salinos de 12 dS m<sup>-1</sup>.

## DISCUSIÓN

En este estudio se encontró que el nivel de salinidad, más que el tipo de sal, fue el factor más determinante en el desarrollo de los brinzales de *P. greggii* var. *australis*, principalmente la combinación de sal clorhídrica con un nivel de



12 dS m<sup>-1</sup>. Los efectos de los niveles de salinidad se observaron en el desarrollo del diámetro a los 60 días, mientras que para el incremento en altura los efectos se reflejaron hasta el día 120. Esta exposición de los árboles a la salinidad provocó con el tiempo el desarrollo de plantas con ICD<sub>172</sub> bajos. Resultados similares han sido encontrados en plántulas de *Annona squamosa* L. cuyo ICD<sub>172</sub> se redujo cuando las plantas fueron irrigadas con soluciones de 5 dS m<sup>-1</sup> (Silva et al., 2018). Aun cuando los árboles toleraron la condición de salinidad, se observó la presencia de necrosis en las puntas de las acículas más viejas en la parte baja del tallo a partir de los 30 días y fue más evidente en los tratamientos de salinidad clorhídrica con 9 dS m<sup>-1</sup> y 12 dS m<sup>-1</sup>.

El tiempo de respuesta a la salinidad en especies leñosas es variable y aunque no lleguen a mostrar síntomas visuales

por intoxicación, la reducción en la tasa de crecimiento es una respuesta inequívoca de la exposición de la planta al estrés salino. En *Casuarina glauca* Sieb. ex Spreng. se ha observado un mecanismo para hacer frente a la salinidad, el cual consiste en reducir su crecimiento para garantizar la hidratación (Batista-Santos et al., 2015). Así también, la acumulación de iones sodio en sus tejidos, es otro mecanismo de respuesta para afrontar la salinidad. Se sabe que *Casuarina equisetifolia* L. tiene la capacidad de translocar iones de sodio a los tallos, así como retenerlos en las raíces y proteger las células de este ion (Selvakesavan et al., 2016). Sin embargo, la acumulación de sales en los tejidos puede influir en la disminución de la fotosíntesis y propiciar la aparición gradual de clorosis en las hojas o acículas (Luangjame, 1990), provocando la muerte del tejido.

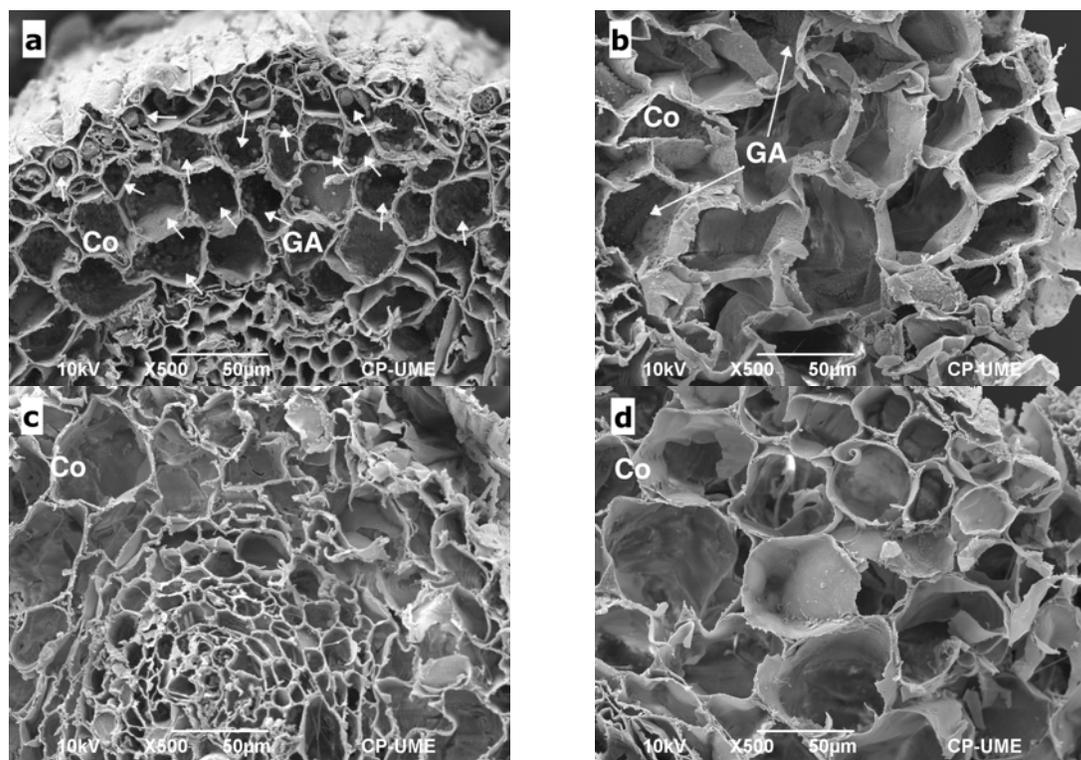


FIGURA 1. Micrografías por microscopía electrónica de barrido (MEB) de cortes transversales de raíces de *P. greggii* var. *australis*. para los distintos tratamientos de sales con 12 dS m<sup>-1</sup>.

a) tratamiento testigo, b) sal sulfático-sódica, c) sal sulfática, d) sal clorhídrica. Co = Zona de corteza de la raíz, GA = gránulos de almidón (las flechas indican las zonas con presencia de gránulos de almidón).

Se ha encontrado que *Pinus caribaea* var. *bondurensis* W. H. Barrett & Golfari tarda cinco semanas en mostrar necrosis en sus acículas después de aplicar tratamientos de NaCl con niveles de hasta a 10 dS m<sup>-1</sup>; mientras que plántulas de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. y *E. pilularis* Sm. muestran daño foliar por sales en solo tres días (Sun y Dickinson, 1993). En plántulas de *Pinus pinea* L. la aplicación de NaCl a 10 dS m<sup>-1</sup> provocó la aparición de necrosis 38 días después en las puntas de las acículas más viejas, afectando también el desarrollo de la raíz y el crecimiento relativo del árbol (Mass, 1987; Khaldi et al., 2011).

En general, en la mayoría de los parámetros morfológicos evaluados (ID<sub>172</sub>, BR<sub>172</sub>, e ICD<sub>172</sub>) se observó que el desarrollo de la planta sigue una tendencia de crecimiento inverso al nivel de salinidad aplicado, lo cual, también ha sido señalado por distintos autores (Sá et al., 2015; Andrade et al., 2018; Silva et al., 2018; Sánchez-Bernal et al., 2020) y para diferentes especies como *A. squamosa* y *P. pinea* (Khaldi et al., 2011). Las altas concentraciones de sales provocan bajos potenciales hídricos que reducen la elongación de las raíces (Dalton et al., 1997). También hay un efecto negativo en la absorción de nutrientes esenciales como K, Ca, Fe y Zn (Abdelaty et al., 2022). La alteración nutrimental también se explica por el antagonismo entre el Na y el K o el Ca en los sitios de absorción en las raíces y al efecto del Na en el transporte de K y Ca en el xilema (Cramer, 2002).

La media del IA<sub>172</sub> con nivel de salinidad de 3 dS m<sup>-1</sup> fue ligeramente superior a la del tratamiento testigo. Resultados similares se han encontrado en especies como: *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth., *Callistemon lanceolatus* Sweet, *Casuarina equisetifolia*, *Pongamia pinnata* (L.) Pierre y *Cassia fistula* L., en donde, al aplicar salinidades de hasta 1.5 dS m<sup>-1</sup>, los árboles presentaron incrementos en altura mayores que los testigos durante los primeros meses (Gupta et al., 2020); así también, en *Eucalyptus argophloia* Blakely y *E. grandis* W. Hill, los cuales, al ser tratados con NaCl y salinidades de hasta 5 dS m<sup>-1</sup>, también tuvieron mayores alturas respecto a sus testigos y, además, reflejaron su alta capacidad de tolerancia a la salinidad (Sun y Dickinson, 1993). Por otro lado, también hay especies que, al ser tratadas con salinidades similares a las utilizadas en

este experimento (3 dS m<sup>-1</sup>), muestran afectación en su capacidad de crecimiento en altura ; tal es el caso de: *A. auriculiformis*, *C. lanceolatus*, *C. equisetifolia*, *P. pinnata*, *C. fistula* (Gupta et al., 2020), *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. y *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. (Sánchez-Bernal et al., 2020).

Al aplicar niveles bajos de salinidad (3 dS m<sup>-1</sup>), el desarrollo de las raíces se ve poco afectado. En plantas que toleran la salinidad como *Prosopis alba* Griseb., se encontró que, al aplicar concentraciones de NaCl en hasta 29.4 dS m<sup>-1</sup>, la producción de biomasa radical fue similar a la obtenido en su tratamiento testigo (Meloni et al., 2004). Cuando una planta tiene la capacidad de tolerar bajas concentraciones de sal, suele ser más eficiente al momento de absorber agua y nutrientes (Gorham et al., 1985). De esta forma, el Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> acumulado en el tallo y las raíces puede ser utilizado por las plantas como un soluto que se compartimenta en las vacuolas y los endosomas, facilitando el ajuste osmótico, la absorción de agua hacia las células y la expansión celular en la planta (Blumwald, 2000; Hasegawa, 2013). De hecho, la compartimentación del Na<sup>+</sup> se debe a que este es químicamente similar al K y lo puede reemplazar en diversas funciones metabólicas, como por ejemplo, en los sitios de absorción de la raíz (Trejo-Téllez et al., 2016). La capacidad de *P. greggii* var. *australis* para tolerar bajos niveles de salinidad durante los 172 días de evaluación, puede deberse a que compartimentó los iones tóxicos presentes en el medio y realizó un ajuste osmótico adecuado, lo cual es similar a los resultados encontrados para *P. pinea* bajo estrés salino de NaCl (Khaldi et al., 2011).

Por otro lado, se ha encontrado que sales como NaHCO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>, presentes en las soluciones tratamiento, afectan el desarrollo en diámetro, altura y raíces en especies de *Pinus halepensis* Mill. y *A. squamosa* (Prisco et al., 2016; Nedjimi, 2017; Andrade et al., 2018), algo que pudo haber ocurrido en este estudio con *P. greggii*. La presencia de sales, además de disminuir la absorción de potasio, nitrato y fosfato (Gorham et al., 1985), genera deficiencias de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> (Prisco et al.,



2016; Mass, 1987) y baja producción carbohidratos en general (Kozłowski, 2000).

Esta deficiencia de carbohidratos en forma de almidones se observó en imágenes MEB (Fig. 1), donde hubo poca o nula presencia de gránulos de almidón en las células de la corteza de las raíces tratadas con 12 dS m<sup>-1</sup>, mientras que en la raíz testigo, la cantidad de gránulos de almidón fue mayor. De acuerdo con López-Ríos (2012), en condiciones normales el tejido de esta zona puede almacenar abundante parénquima de reserva y acumular materiales como gránulos de aleurona, almidones, azúcares en solución, entre otros. En *Pinus radiata* D. Don se ha encontrado que la acumulación de almidón en la corteza de la raíz puede influir en la formación de nuevos primordios radiculares (Li y Leung, 2000).

La ausencia de gránulos de almidón también puede ser ocasionada por agentes patógenos. Por ejemplo, en *Citrus sinensis* L. Osbeck se observó la ausencia de gránulos de almidón en las células de la corteza cuando las plantas estuvieron bajo estrés por una bacteria (*Candidatus Liberibacter asiaticus*) (Kumar et al., 2018). En este estudio se descarta la presencia de bacterias ya que ninguna de las plantas testigo mostró evidencia de enfermedad. En algunas variedades de *Pisum sativum* L. se ha encontrado un menor contenido de almidones en los cloroplastos cuando son tratadas con NaCl (Hernández et al., 1995). Esto permite suponer que las raíces de *P. greggii* al estar expuestas a altos niveles de salinidad no acumularon gránulos de almidón y, por lo tanto, esta escasez es un factor más que impidió una mayor producción de raíces.

Aunque no fueron tan marcados los efectos entre los tipos de sales, se observó que el tipo de sal clorhídrica tiende a reducir más los parámetros morfológicos de calidad de planta evaluados. Mass (1987) menciona que las especies leñosas son más susceptibles a la toxicidad por Cl<sup>-</sup>, el cual se encuentra presente en mayor cantidad en el tipo de sal clorhídrica, además, se ha encontrado que el NaCl es más tóxico que la sal sulfático-sódica en germinaciones de *Pinus halepensis* (Nedjimi, 2017).

## CONCLUSIONES

El principal factor que afectó el desarrollo de *P. greggii* var. *australis* fue el nivel salinidad. El nivel 3 dS m<sup>-1</sup> fue todavía adecuado para mantener un buen desempeño en esta variedad de pino; más allá de este nivel, las raíces son afectadas primeramente dada su exposición a las soluciones salinas y en consecuencia el diámetro y la altura, provocando una mala calidad morfológica de planta. Así también, la solución clorhídrica fue la que tuvo el mayor impacto en detrimento del desarrollo de la planta. Por otro lado, a pesar de que durante cinco meses la planta pudo tolerar esta salinidad, en condiciones de campo la respuesta puede ser distinta. Finalmente, se observó que cuando *P. greggii* var. *australis* se expuso a elevados índices de salinidad, la acumulación de almidones en las raíces se vio afectada y esto suma a los diversos factores que impiden el desarrollo de la planta.

## REFERENCIAS

- Andrade, F. H. A. de, Pereira, W. E., Morais, R. R., Silva, A. F. da, & Barbosa Neto, M. A. (2018). Effect of phosphorus application on substrate and use of saline water in sugar-apple seedlings. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 48(2), 190–199. <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v48s2035>
- Abdelaty, H. S., Hosni, A. M., Abdelhamid, A. N., & Abdalla, A. (2022). Effect of irrigation water quantity and salinity level on growth and internal chemical contents of Moringa plants. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(12), 79–85. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.144021.6283>
- Batista-Santos, P., Duro, N., Rodrigues, A. P., Semedo, J. N., Alves, P., da Costa, M., Graça, I., Pais, I. P., Scotti-Campos, P., Lidon, F. C., Leitão, A. E., Pawłowski, K., Ribeiro-Barros, A. I., & Ramalho, J. C. (2015). Is salt stress tolerance in *Casuarina glauca* Sieb. ex Spreng. associated with its nitrogen-fixing root-nodule symbiosis? An analysis at the photosynthetic level. *Plant Physiology and Biochemistry*, 96, 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.07.021>
- Blumwald, E. (2000). Sodium transport and salt tolerance in plants. *Current Opinion in Cell Biology*, 12(4), 431–434. [https://doi.org/10.1016/S0955-0674\(00\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0955-0674(00)00112-5)
- Burney, O., Aldrete, A., Alvarez Reyes, R., Prieto Ruiz, J. A., Sánchez Velázquez, J. R., & Mexal, J. G. (2015). México — Addressing

- challenges to reforestation. *Journal of Forestry*, 113(4), 404–413. <https://doi.org/10.5849/jof.14-007>
- Can-Chulim, Á., Cruz-Crespo, E., Ortega-Escobar, H. M., Sánchez-Bernal, E. I., Madueño-Molina, A., Bojórquez-Serrano, J. I., & Mancilla-Villa, Ó. R. (2017). Respuesta de *Phaseolus vulgaris* a la salinidad generada por NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaHCO<sub>3</sub>. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1287–1300. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i6.294>
- Cony, M. A., & Trione, S. O. (1998). Inter- and intraspecific variability in *Prosopis flexuosa* and *P. chilensis*: seed germination under salt and moisture stress. *Journal of Arid Environments*, 40(3), 307–317. <https://doi.org/10.1006/jare.1998.0448>
- Cramer, G.R. (2002). Sodium-Calcium interactions under salinity stress. En Läuchli, A., & U. Lüttge (Eds.), *Salinity: Environment- plants-Molecules* (pp. 205-227). Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Dagar, J. C., Singh, G., & Singh, N. T. (2001). Evaluation of forest and fruit trees used for rehabilitation of semiarid alkali-sodic soils in India. *Arid Land Research and Management*, 15(2), 115–133. <https://doi.org/10.1080/15324980151062742>
- Dalton, F. N., Maggio, A. & Piccinni, G. (1997). Effect of root temperature on plant response functions for tomato: Comparison of static and dynamic salinity stress indices. *Plant and Soil*, 192, 307–319. [doi.org/10.1023/A:1004263505595](https://doi.org/10.1023/A:1004263505595)
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10–13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Gómez-Romero, M., Soto-Correa, J. C., Blanco-García, J. A., Sáenz-Romero, C., Villegas, J., & Lindig-Cisneros, R. (2012). Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. *Agrociencia*, 46(8), 795–807.
- Gorham, J., Jones, R. G. W., & McDonnell, E. (1985). Some mechanisms of salt tolerance in crop plants. *Plant and Soil*, 89(1–3), 15–40. <https://doi.org/10.1007/BF02182231>
- Gupta, J., Dubey, R. K., Kaur, N., & Choudhary, O. P. (2020). Evaluation of subtropical ornamental trees for reclaiming salinity affected lands. *Journal of Forestry Research*, 31(3), 807–817. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0851-y>
- Hasegawa, P. M. (2013). Sodium (Na<sup>+</sup>) homeostasis and salt tolerance of plants. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 19–31. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.03.001>
- Hayward, H. E., & Wadleigh, C. H. (1949). Plant growth on saline and alkali soils. En A. G. Norman (Ed.), *The botanical review* (Vol. 11, Número 4, pp. 1–38). [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60745-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60745-2)
- Hernández-Martínez, J., López Upton J., Vargas Hernández J. J., & Jasso Mata J. (2007). Zonas semilleras de *Pinus greggii* var. *australis* en Hidalgo, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(3), 241-249.
- Hernández, J. A., Olmos, E., Corpas, F. J., Sevilla, F., & del Río, L. A. (1995). Salt-induced oxidative stress in chloroplasts of pea plants. *Plant Science*, 105(2), 151–167. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(94\)04047-8](https://doi.org/10.1016/0168-9452(94)04047-8)
- Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt, A. K., Pulatov, A., Kempen, B., & de Sousa, L. (2019). Global mapping of soil salinity change. *Remote Sensing of Environment*, 231(March), 111260. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111260>
- Khalidi, A., Ammar, R. Ben, Woo, S. Y., Akrimi, N., & Zid, E. (2011). Salinity tolerance of hydroponically grown *Pinus pinea* L. seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(3), 765–775. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0601-z>
- Kovda, V. A. (1947). *Origin and regime of salt-affected soils. Volumes I and II*. Izdatelstvo Akademii Nauk. Moscow, USSR.
- Kovda, V. A. (1973). Chemistry of saline and alkali soils of arid zones. En V. A. Kovda, C. Van Den Berg, & R. M. Hagan (Eds.), *Irrigation, drainage and salinity* (pp. 142–175). FAO, Unesco.
- Kozłowski, T. T. (2000). Responses of woody plants to human-induced environmental stresses: issues, problems, and strategies for alleviating stress. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 19(2), 91–170. <https://doi.org/10.1080/07352680091139196>
- Kumar, N., Kiran, F., & Etxeberria, E. (2018). Huanglongbing-induced anatomical changes in citrus fibrous root orders. *HortScience*, 53(6), 829–837. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12390-17>
- LaLonde, S. M. (2012). Transforming variables for normality and linearity – When, how, why and why not’s. *SAS Global Forum 2012*, 1–8. <http://support.sas.com/resources/papers/proceedings12/430-2012.pdf>
- Li, M., & Leung, D. W. M. (2000). Starch accumulation is associated with adventitious root formation in hypocotyl cuttings of *Pinus radiata*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 19(4), 423–428. <https://doi.org/10.1007/s003440000020>
- López-Mora, L. I., Gutiérrez-Martínez, P., Bautista-Baños, S., Jiménez-García, L. F., & Zavaleta-Mancera, H. A. (2013). Evaluación de la actividad antifúngica del quitosano en *Alternaria alternata* y en la calidad del mango “tommy atkins” durante el almacenamiento. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 19(3), 315–331. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.07.038>



- López-Ríos, G. F. (2012). *Botánica. Anatomía, morfofisiología y diversidad* (2a ed., pp. 87–107). Universidad Autónoma Chapingo.
- López-Upton, J., & Muñoz, A. (1991). Selección familiar por tolerancia a sequía en *Pinus greggii* Engelm. I. evaluación en plántula. *Agrociencia*, 2(2), 111–123.
- Luangjame, J. (1990). Salinity effects in *Eucalyptus camaldulensis* and *Combretum quadrangulare*. Ecophysiological and morphological studies. *Acta Forestalia Fennica*, 214. <https://doi.org/10.14214/aff.7661>
- Mass, E. V. (1987). Salt tolerance of plants. En B. R. Christie (Ed.), *CRC Handbook of plant science in agriculture* (p. 20). CRC Press.
- Meloni, D. A., Gulotta, M. R., Martínez, C. A., & Oliva, M. A. (2004). The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 16(1), 39–46. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202004000100006>
- Mohedano-Caballero, L., Cetina-Alcalá, V. M., Chacalo-Hilu, A., Trinidad-Santos, A., & González-Cossio, F. (2005). Crecimiento y estrés post-trasplante de árboles de pino en suelo salino urbano. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(1), 43–50.
- Nedjimi, B. (2017). How NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgCl<sub>2</sub> and CaCl<sub>2</sub> salts affect the germinability of *Pinus halepensis* Mill. *Current Science*, 113(10), 2031–2035. <https://doi.org/10.18520/cs/v113/i10/2031-2035>
- Pla Sentís, I. (2021). Overview of salt-affected areas in Latin America: physical, social and economic perspectives. En E. Taleisnik, & R. S. Lavado (Eds.), *Saline and alkaline soils in Latin America: Natural resources, management and productive alternatives* (pp. 3–36). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-52592-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-52592-7_1)
- Prisco, J. T., Gomes-Filho, E., & Miranda, R. S. (2016). Physiology and biochemistry of plants growing under salt stress. En H. R. Gheyi, N. da S. Dias, C. F. de Lacerda, & E. Gomes-Filho (Eds.), *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados* (pp. 163–180). INCTsal.
- Ramírez-Herrera, C., Vargas-Hernández, J. J., & López-Upton, J. (2005). Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta Botanica Mexicana*, 72, 1–16. <https://doi.org/10.21829/abm72.2005.997>
- Reyes-Esteves, G. I., López-Upton, J., Velasco-García, M. V., & Jiménez-Casas, M. (2022). Genetic parameters of a progeny trial of *Pinus greggii* Engelmann ex Parlatore var. *australis* Donahue & López in the mixteca alta of Oaxaca, Mexico. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 28(1), 75–88. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.10.067>
- Sá, F. V. da S., Brito, M. E. B., Pereira, I. B., Antônio Neto, P., Silva, L. D. A., & Costa, F. B. da. (2015). Balanço de sais e crescimento inicial de mudas de pinheira (*Annona squamosa* L.) sob substratos irrigados com água salina. *IRRIGA*, 20(3), 544–556. <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v20n3p544>
- Sánchez-Bernal, E. I., Ortega-Escobar, H. M., Muñoz-Hernández, E. N., Can-Chulim, Á., Ortega-Baranda, V., & Ochoa-Sommano, J. (2020). Growth of seedlings of *Tabebuia rosea* and *Gliricidia sepium* under hydrochloric salinity conditions. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 347–359. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V38I2.608>
- Selvakesavan, R. K., Dhanya, N. N., Pillai, T., Abraham, S. M., Jayaraj, R. S. C., Balasubramanian, A., Deeparaj, B., Sudha, S., Rani, K. S., Sowmiya, Bachpai, V. K. W., Ganesh, D., Diagne, N., Laplaze, L., Gherbi, H., Svistoonoff, S., Hocher, V., Claudine, F., Bogusz, D., & Nambiar-Veetil, M. (2016). Intraspecies variation in sodium partitioning, potassium and proline accumulation under salt stress in *Casuarina equisetifolia*. *Symbiosis*, 70, 117–127. <https://doi.org/10.1007/s13199-016-0424-9>
- Silva, A. R., Bezerra, F. T. C., Cavalcante, L. F., Pereira, W. E., Araújo, L. M., & Bezerra, M. A. F. (2018). Frequency of irrigation with saline water in sugar-apple seedlings produced on substrate with polymer. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(12), 825–830. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n12p825-830>
- Strogonov, B. P. (1962). Effect of various types of salinity on growth and development of plants. En B. P. Strogonov (Ed.), *Physiological basis of salt tolerance of plants (as affected by various types of salinity)* (pp. 45–68). Akademiya Nauk. Institute of Plant Physiology.
- Sun, D., & Dickinson, G. (1993). Responses to salt stress of 16 eucalyptus species, *Grevillea robusta*, *Lophostemon confertus* and *Pinus caribaea* var. *bondurensis*. *Forest Ecology and Management*, 60(1–2), 1–14. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(93\)90019-J](https://doi.org/10.1016/0378-1127(93)90019-J)
- Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., & Alcántar-González, G. (2016). Elementos benéficos: potencialidades y limitantes. En G. Alcántar-González, L. I. Trejo-Téllez, & F. C. Gómez-Merino (Eds.), *Nutrición de cultivos* (2a ed., pp. 59–101). Biblioteca básica de agricultura.
- Zhang, Z., & Yu, F. (2019). Effects of salt stress on seed germination of four ornamental non-halophyte species. *International Journal of Agriculture and Biology*, 21(1), 47–53. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0860>

Manuscrito recibido el 13 de mayo de 2022

Aceptado el 11 de diciembre de 2022

Publicado el 16 de marzo de 2023

Este documento se debe citar como:

Ortiz Torres, C., Gómez Guerrero, A., Ortega Escobar, Héctor M., López Upton, J., Plascencia Escalante, F. O., & Martínez Trinidad, T. (2023). Efecto de diferentes tipos de sales en el desarrollo de brinzales de *Pinus greggii* var. *australis*. *Madera y Bosques*, 29(1), e2912490. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2912490>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.