

Tasa fotosintética y producción de biomasa por inoculación de *Scleroderma* sp. con diferentes concentraciones de NaCl en nogal pecanero

Judith Abigail Sánchez-Ledesma¹

Jesús Guadalupe Arreola-Ávila^{1§}

Verónica Ávila-Rodríguez²

Fabián García-González¹

Violeta Carrasco-Hernández³

Amparo Borja de la Rosa³

¹Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Gómez Palacio-Chihuahua km 40, Bermejillo, Durango. CP. 35230. (judithaigailsanchezledezma@hotmail.com; fabiangglez@chapingo.uruz.edu.mx). ²Facultad de Ciencias Biológicas-Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Durango, México. CP. 35010. (vavilar@gmail.com). ³Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (aborja@correo.chapingo.mx; elalovich@yahoo.com.mx).

§Autor para correspondencia: jgarreola@chapingo.uruz.edu.mx.

Resumen

El nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] es uno de los frutales establecidos en el norte de México, donde existe una superficie considerable de suelos con diferente grado de salinidad, a la cual el árbol es sensible. En plántulas inoculadas con *Scleroderma* sp., se avaluó el efecto de NaCl en concentraciones de 0, 20, 25, 30 y 35 mM, incluyendo un testigo sin inocular y sin NaCl. El experimento se realizó en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas en Bermejillo, Durango, México, en condiciones de invernadero. Las plántulas fueron regadas dos veces por semana, durante 2018. Las plantas inoculadas y bajo condición no salina, mostraron la mayor fotosíntesis y transpiración, seguida por las plántulas testigo. La concentración de Na⁺ en raíz, tallo y hoja fue menor en el testigo y en las plántulas inoculadas y sin NaCl. La concentración de K en plántulas inoculadas y bajo condición salina y no salina fue similar al testigo. La relación k/Na fue mayor en el testigo y en las plántulas inoculadas y bajo condición no salina y disminuyó a medida que incrementó la concentración de NaCl particularmente en raíz. Las plántulas testigo mostraron mayor peso seco en raíz tallo y hoja que las inoculadas con *Scleroderma* sp. y bajo estrés salino, pero fue menor que en las inoculadas con el hongo y bajo condición no salina. En plántulas bajo estrés salino de 20 y 35 mM, la disminución del peso seco fue de 8.5 y 47%, en comparación al testigo. Las plántulas de nogal inoculadas con *Scleroderma* sp. y bajo condición no salina, mostraron mejor respuesta fisiológica y de acumulación de biomasa y no bajo condición salina.

Palabras clave: comportamiento de plántulas, medio estresante, micorrizas.

Recibido: mayo de 2022

Aceptado: julio de 2022

Introducción

El nogal pecanero es una especie cuyos ancestros nativos se desarrollaron espontáneamente cerca de ríos o arroyos donde los suelos son de origen aluvial, profundos y fértiles, con alta capacidad de retención de humedad y con buen drenaje (Campos *et al.*, 2017). Actualmente la mayoría de las huertas comerciales de nogal, establecidas en México, se encuentran en áreas distantes de esos nichos ecológicos, en las cuales las condiciones físicas y químicas de los suelos en los que crecen no son del todo adecuadas. En el norte de México un considerable número de huertas de nogal ha sido establecido en áreas salinas (Moreno *et al.*, 2015).

Esta condición limita la productividad de esta especie, la cual es considerada como susceptible a salinidad (Campos *et al.*, 2017), ya que el umbral de tolerancia, determinado en huertas adultas irrigadas es de 2 a 3 dS m⁻¹, cuando el Na es el catión dominante (Miyamoto y Nesbitt, 2011). En plántulas de nogal la fotosíntesis, la conductancia estomática y la biomasa disminuyen a partir de 2 dS m⁻¹ de NaCl en el agua de riego (Campos *et al.*, 2017). La retención iónica en raíz o tallo es uno de los mecanismos que presentan algunas plantas para tolerar la salinidad (Ma *et al.*, 2014). Sin embargo, en esta especie, esta característica no se ha observado.

El género *Carya*, como en la mayoría de los árboles forestales, ha establecido una relación mutua con hongos ectomicorrizicos nativos, necesaria para su desarrollo y sobrevivencia (Bonito *et al.*, 2011). El hongo tiene como función incrementar el acceso a nutrientes de su anfitrión (Bonito *et al.*, 2011), así como aumentar la capacidad de la planta para desarrollarse bajo condiciones de estrés hídrico (Syvertsen y Levy, 2005; Estrada *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2014; Babuin *et al.*, 2016; Scagel *et al.*, 2017; Behrozz *et al.*, 2019).

La inoculación con hongos ectomicorrizicos conforma una herramienta importante para mejorar el funcionamiento y asegurar la producción de biomasa en especies forestales, bajo condiciones salinas (Ma *et al.*, 2014), ya que disminuyen la entrada de Na y Cl (Smith *et al.*, 2010). Aunque en otras especies como álamo temblón y abedul, esto no sucede (Yi *et al.*, 2008). En *Carya illinoensis* la información sobre la respuesta de la planta inoculada con ectomicorrizas, bajo condiciones de salinidad es limitada.

La presencia de Na en huertas plantadas con nogal, y la ausencia de portainjertos tolerantes a salinidad, para las nuevas plantaciones, conduce a la búsqueda de opciones para contrarrestar este problema, sin afectar negativamente el ecosistema del suelo. El objetivo del presente estudio fue el evaluar la tasa fotosintética y producción de biomasa, en respuesta a la inoculación con *Scleroderma* sp., con diferentes concentraciones de NaCl en plántulas de nogal.

Materiales y métodos

Obtención de *Scleroderma* sp.

La huerta donde se colectaron los ejemplares de cuerpos fructíferos de *Scleroderma* sp. Tiene 40 años y los árboles están plantadas en marco real a distancia de 12 m x 12 m. Se ubica en el municipio de Matamoros, Coahuila, cuyas coordenadas geográficas son 25° 25' latitud norte, 108° 18' longitud oeste, con una elevación de 1 200 msnm. La búsqueda y recolección de los ejemplares se llevó a cabo durante los meses de mayo a noviembre de 2018.

Los recorridos se efectuaron en bloques de 10 000 m² en cinco sitios de la huerta cuya superficie es de 20 ha. Para cada recolecta se realizó registro fotográfico y observaciones como tamaño, color y forma. Los colores de los hongos se registraron con la guía de colores (Munsell, 1975). Los ejemplares se colocaron en papel encerado y transportados en hielera portátil al laboratorio de ecología microbiana de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, México. Para identificar las estructuras microscópicas se analizaron preparaciones temporales con KOH al 5% y reactivo de Melzer en microscopios Velab VE-B3 y ZEISS Scope A1. Se identificaron los especímenes de acuerdo con las claves taxonómicas (Guzmán, 2013).

Aislamiento de la cepa de *Scleroderma* sp.

Fragmentos del hongo fueron obtenidos de la parte central de la gleba bajo condiciones asépticas en una campana de flujo laminar, desinfectada con alcohol al 70% y cloro al 10%. Los fragmentos se transfirieron a cajas Petri, con medio nutritivo y se incubaron a una temperatura de 25 °C, hasta inicios del crecimiento del micelio.

Preparación del inóculo fúngico

Las cepas se resembraron en papa agar dextrosa (PDA). Posteriormente las colonias se fragmentaron en pequeños cuadros de 5 x 5 y se transfirieron a matraces de 250 ml, que contenían 100 ml de biotina aneurina y ácido fólico (BAF) y 15 g de dextrosa. Los matraces se mantuvieron en agitación mecánica a 150 rpm y 25 °C durante dos semanas. Se eliminó el medio nutritivo usando agua destilada. Se efectuaron diluciones en serie del micelio activo para obtener una concentración de 2.5×10^8 unidades formadoras de colonia por mililitro, que se utilizó en la inoculación de las plántulas.

Diseño de tratamientos

Las semillas de nogal criollo fueron colectadas en noviembre 2018, en la huerta donde se colectó el hongo. Fueron después estratificadas en aserrín durante un mes a temperatura de 5 °C. Posteriormente se sumergieron en agua por 48 h como tratamiento pregerminativo y se sembraron en una caja de madera para semillero, bajo condiciones de invernadero a 30 °C en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México, cuyas coordenadas son de 25.8° Latitud y 103.6° longitud oeste, con una altura de 1 120 msnm.

Se utilizó arena como sustrato y se aplicaron riegos con agua destilada cada tercer día. Una vez que las plantas alcanzaron un tamaño de 15 cm aproximadamente se trasladaron a macetas con capacidad de 9 kg que contenían sustrato compuesto por arena, peat most y suelo en proporción 40:20:40, el cual se esterilizó con bromuro de metilo. Veinticinco plántulas homogéneas inoculadas y sin micorrizar, recibieron los tratamientos con NaCl (0, 20, 25.30 y 35 mM), al momento del trasplante a macetas. Cinco plántulas sin inocular del testigo recibieron riego sin NaCl.

La inoculación se llevó a cabo en la base del tallo de las plántulas utilizando una pipeta de 10 ml. Los tratamientos se aplicaron considerando un diseño completamente al azar con cinco repeticiones, se consideró un árbol como repetición. Se utilizó la prueba de DMS (0.05), para realizar la comparación de medias entre tratamientos. Las plántulas se regaron cada tercer día, utilizando 300 ml de agua destilada o salina.

Variables evaluadas

Las variables conductancia estomática, fotosíntesis y transpiración, se evaluaron cada semana, iniciando un mes después de efectuados los tratamientos, utilizando un analizador de gas infra rojo (LI-COR 6400[®], Lincoln, NE, USA) una vez por semana. Al final del experimento y cuando las plantas tratadas manifestaron síntomas considerables por el daño de sales, lo cual ocurrió tres meses después de establecidos los tratamientos se colectaron y fraccionaron en raíz, tallo y hoja.

Las muestras se secaron en estufa de secado (ThermoScientific. Modelo Precision, OV700F) a 65 °C. Hasta peso constante y se determinó el peso seco de estos tejidos. El contenido de Na y K se determinó mediante digestión, efectuada por vía húmeda, con una mezcla nítrico-perclórica. Posteriormente las lecturas se realizaron utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (Analyst 200, Perkin Elmer[®], USA).

Resultados y discusión

Fotosíntesis

Las plántulas testigo, no inoculadas con *Scleroderma* sp. y desarrolladas en medio no salino mostraron la menor tasa fotosintética (Cuadro 1). En los nogales inoculados y bajo condición no salina, esta variable incremento 10%, respecto al testigo. Sin embargo, las concentraciones de 20 y 25 mMol de NaCl⁺ en el agua, redujeron la fotosíntesis en 5 y 19% respecto al testigo. Similarmente, el incremento de las concentraciones salinas a 30 y 35 mM, redujeron significativamente la tasa fotosintética en 31 y 42% respectivamente.

Cuadro 1. Tasa fotosintética, conductancia estomática y transpiración en plántulas de nogal pecanero sin inocular e inoculadas con *Scleroderma* sp. y regadas con diferentes concentraciones de cloruro de sodio.

NaCl (mM)	Fotosíntesis ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Conductancia estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Transpiración ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Testigo sin inoculo	6.3 \pm 0.6 a ^z	0.08 \pm 0.008 a	1.88 \pm 0.25 a
0 con inoculo	7 \pm 0.57 a	0.08 \pm 0.007 a	2.18 \pm 0.24 a
20 con inoculo	6 \pm 0.18 a	0.08 \pm 0.009 a	1.68 \pm 0.23 a
25 con inoculo	5.1 \pm 0.08 ab	0.07 \pm 0.01 a	1.69 \pm 0.25 a
30 con inoculo	4.8 \pm 0.3 b	0.05 \pm 0.003 b	1.22 \pm 0.08 b
35 con inoculo	4 \pm 0.63 b	0.05 \pm 0.003 b	1.2 \pm 0.15b

^z= medias (n= 5, \pm error estándar) con letras desiguales dentro de cada columna, son estadísticamente diferentes (DMS; $p \leq 0.05$).

El efecto del estrés salino sobre la disminución de la tasa fotosintética aquí encontrado, también ha sido observado en las especies de pino *Picea mariana*, *Picea glauca* y *Pinus banksiana* inoculadas con micorrizas del género *Hebeloma crustoliniforme* o *Laccaria bicolor* y desarrolladas bajo condición salina (Nguyen *et al.*, 2006). Este efecto negativo, es debido a que el estrés salino restringe la formación de clorofila (Moreno *et al.*, 2015) y está involucrado la destrucción del fotosistema II, interrumpiendo el transporte de electrones en el aparato fotosintético de las plantas

(Sheng *et al.*, 2008). Por otro lado, se ha encontrado que la simbiosis con micorrizas incrementa la fotosíntesis ya que la sal interfiere menos en la síntesis de clorofila que en las plantas no inoculadas (Smith *et al.*, 2010)

Conductancia estomática

La conductancia estomática en las plántulas testigo, sin inoculo y sin NaCl⁺ fue similar a la observada en las plántulas inoculadas y crecidas en medio no salino, así como en las tratadas con 20 mM de NaCl⁺ (Cuadro 1). Esta variable redujo 12.5% en los nogales inoculados y regados con agua conteniendo 25 mM de NaCl. Los tratamientos con 30 y 35 mM de NaCl mostraron una disminución significativa de 37.5% respecto al testigo. El incremento de Na y Cl también ha sido observado en plántulas de nogal no inoculadas y con estrés de NaCl por en todos los tratamientos de salinidad (Campos *et al.*, 2017).

En plántulas de manzano inoculadas con *Glomus versiforme* y tratadas con 2, 4 y 6% de NaCl, la turgencia de la hoja incrementó en relación con las no inoculadas, sin embargo, ésta disminuyó a medida que se incrementó el estrés salino. Los resultados encontrados en este estudio son similares a los observados por Muhsin y Zwiazek (2002). Quienes observaron una disminución en la conductancia estomática en plántulas de Abeto sin inocular e inoculadas con *Hebeloma crustuliniforme* y tratadas con 25 mM de NaCl. Sin embargo, Birhane *et al.* (2012) observaron diferente respuesta en plántulas micorrizadas con el género *Glomus* y en condición salina, en las que se observó mayor conductancia estomática debido a la mayor disponibilidad de agua.

Las plántulas de nogal tratadas con Na₂SO₄ presentaron elevada concentración de prolina en la hoja (Moreno *et al.*, 2015). Esta respuesta se ha encontrado en plantas con micorrizas en la raíz, la cual se debe mantener el balance entre la rizosfera y el medio externo, influyendo de esa forma sobre la conductancia estomática (Evelin *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2010),

Transpiración

Las plántulas inoculadas y tratadas con solución salina presentaron valores de transpiración inferiores al testigo, sin inoculo y sin NaCl⁺ (Cuadro 1). Bajo condición salina equivalente a 20 y 25 mM, la transpiración disminuyó 10% aproximadamente, en relación con el testigo. Sin embargo, al incrementar el gradiente de salinidad a 30 y 35 Mm, la transpiración redujo significativamente en 35 y 36% respectivamente. Los nogales inoculados y crecidos bajo condición no salina presentaron la mayor transpiración, equivalente en 14% respecto al testigo. En este estudio la presencia de *Sleroderma* sp no mejoró la sequía fisiológica en las plántulas tratadas con NaCl.

Lo anterior pudo deberse a que el NaCl en el medio ejerció un efecto osmótico, el cual disminuyó la disponibilidad de agua libre, aumentando el déficit hídrico de la hoja como lo señalan Syvertsen y Levy (2005). De igual forma en las plántulas de *Populus tremuloides* Michx. Y *Betula papyrifera* Marsh inoculadas por Yi *et al.* (2008) con *Hebeloma Crustuliniforme* o *Laccaria bicolor* y tratadas con 25 mM NaCl por seis semanas, la transpiración al igual que en este estudio, no se vio afectada bajo la misma concentración de NaCl. Sin embargo, en plántulas de abedul bajo la misma condición salina y tratada con la misma micorriza por Muhsin y Zwiazek (2002) ésta se redujo.

Concentración de Na en tejido

La menor concentración de Na^+ en los tejidos se observó en las plántulas testigo, sin *Scleroderma* sp. y en ausencia de NaCl, así como en las plántulas inoculadas y tratadas con la sal (Figura 1). Esto no sucedió en las plántulas inoculadas y regadas con solución salina, en las que el Na^+ incrementó significativamente en los tres tipos de tejido, siendo de 74, 77 y 43% mayor en raíz, tallo y hoja para la condición salina de 35 mM. La raíz mostró la menor cantidad de Na y la hoja la mayor cantidad.

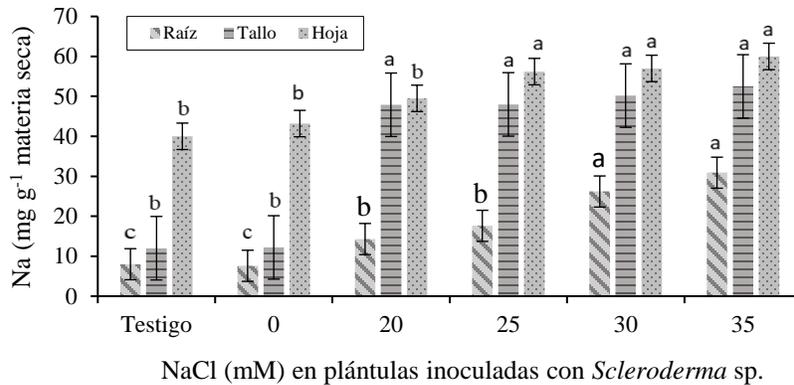


Figura 1. Concentración de sodio en raíz, tallo y hoja en plántulas de nogal pecanero sin inocular e inoculadas con *Scleroderma* sp. y regadas con diferentes concentraciones de cloruro de sodio. Barras verticales (n=5, \pm error estándar) dentro de tratamientos con letras desiguales, son estadísticamente diferentes (DMS; $p \leq 0.05$).

La colonización de plantas con micorrizas puede aumentar la absorción de K bajo condiciones salinas previniendo de esa forma la translocación de Na hacia el tallo (Giri *et al.*, 2007; Porcel *et al.*, 2016). En este estudio esto no sucedió, ya que la concentración de Na^+ en los tejidos de las plántulas incrementó conforme aumentó la condición salina. Aunque en plántulas de abeto tratadas con 25 mM de NaCl e inoculadas con *Hebeloma crustuliniforme*, se observó menor Na en raíz y tallo que en las no tratadas.

Las diferencias considerables en concentración de sodio entre plantas con micorrizas y sin ellas, sugieren que los mecanismos para mejorar la tolerancia al estrés salino en estas plantas inoculadas pueden estar relacionados con la exclusión de Na (Feng *et al.*, 2006). Por lo tanto, las diferentes respuestas de las plantas al estrés salino dependerán de capacidad planta-micorganismo, para tolerar el efecto inhibitorio causado por la salinidad (Bandou, 2006).

Concentración de K en tejido

La concentración de K en la raíz y tallo de plántulas con *Scleroderma* sp. bajo condición salina fue similar al testigo sin inocular y sin NaCl (Figura 2). Sin embargo, en las hojas, los tratamientos tuvieron un efecto significativo, ya que, en las plántulas tratadas con 30 y 35 mM de NaCl, mostraron la mayor concentración de k, la cual fue 37 y 47% mayor que en el testigo. Cuando la concentración de Na en el medio incrementa, las plantas toman más Na^+ que potasio (Ruiz *et al.*, 2012; Bassil *et al.*, 2012).

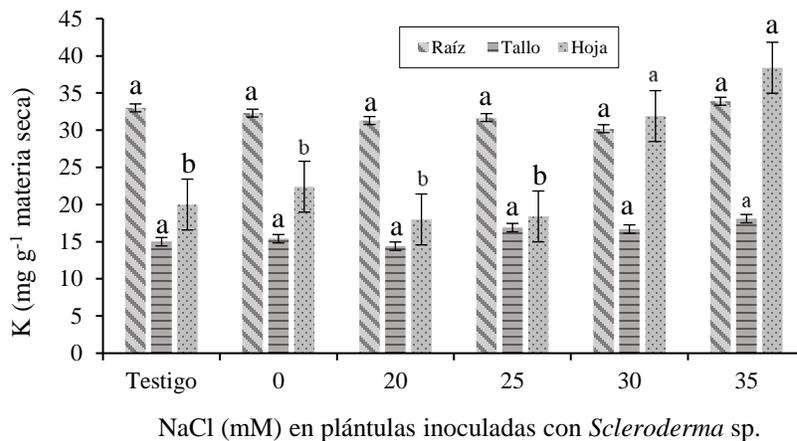


Figura 2. Concentración de potasio en raíz, tallo y hojas de plántulas de nogal pecanero sin inocular e inoculadas con micorriza *Scleroderma* sp. y regadas con diferentes concentraciones de cloruro de sodio. Barras verticales (n=5, \pm error estándar) dentro de tratamientos con letras desiguales, son estadísticamente diferentes (DMS; $p \leq 0.05$).

Aunque la concentración de Na fue significativa a partir de los 25 mM en la solución. No obstante, a lo anterior, la alta concentración de K en el follaje, encontrada en el presente estudio, es similar a la observada por Bandou *et al.* (2006). En plántulas de uva de mar *Coccoloba uvifera*, inoculadas y bajo condición salina, aunque esta especie exhibió elevados niveles de potasio en todos los tejidos, en todos los niveles de salinidad estudiados. Los autores mencionan, además que *Scleroderma bermudense*, pareció proteger a las plántulas del estrés salino incrementando la relación K/Na para mantener una turgencia elevada.

Relación K/Na en tejido

La mayor relación K^+/Na^+ en raíz se observó en las plántulas testigo, así como en las inoculadas con *Scleroderma* sp tratadas con solución no salina (Figura 3). Esta relación disminuyó gradualmente en aquellas tratadas con NaCl, conforme la concentración incrementó. La mayor relación K/Na también se observó en los tallos de las plántulas testigo, así como en las inoculadas pero sin NaCl en las cuales se redujo significativamente en todos los tratamientos con NaCl. Situación similar se observó en las hojas, excepto en aquellas de las plantas tratadas con 30 y 35 mM de NaCl, que fueron significativamente superiores a las desarrolladas en las dos concentraciones de NaCl inferiores inmediatas.

El Na^+ compite con el K^+ y cuando la concentración de Na^+ en el medio es alta, las plantas tienden a tomar más de este ion y menos K^+ (Chen *et al.*, 2007; Evelin (2009). En esta investigación las plantas con micorriza y bajo estrés causado por la presencia de NaCl, mostraron en sus tejidos una baja relación K^+/Na^+ . Estos resultados son diferentes a los encontrados en plantas de *Acacia nilotica* con micorrizas, en los que se observó una absorción de K elevada, manifiesta en el tallo, en comparación con las no micorrizadas (Giri *et al.*, 2007; García *et al.*, 2014). En otro estudio, con álamos inoculados con micorrizas y bajo condición salina, se observó una mayor absorción de K, mejorando así la capacidad para mantener una autorregulación de K^+/Na^+ condición crucial para tolerar condiciones de salinidad, como lo mencionan (Li *et al.*, 2012).

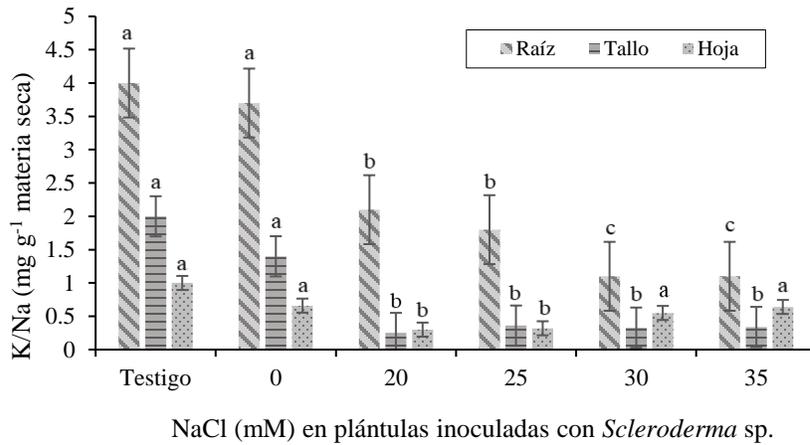


Figura 3. Relación K/Na en raíz, tallo y hoja de nogal pecanero sin inocular e inoculadas con micorriza *Scleroderma* sp. y regadas con diferentes concentraciones de salinidad. Barras verticales (n=5, ± error estándar) dentro de tratamientos con letras desiguales, son estadísticamente diferentes (DMS; $p \leq 0.05$).

Peso seco raíz

Los tratamientos con NaCl afectaron significativamente el peso seco de la raíz (Figura 4). Las plántulas inoculadas y regadas con agua libre de sales y el testigo mostraron el mayor peso seco en comparación con las plántulas inoculadas con *Scleroderma* sp. y tratadas con NaCl. Esta variable disminuyó conforme la concentración de NaCl en el medio incrementó. El peso seco de la raíz en las plántulas cultivadas en el medio salino con 20 mM disminuyó en 39%, siendo de 43% para las cultivadas con 25 y 30 mM. Mientras que las tratadas con 35 mM manifestaron una disminución en el peso seco de 55%.

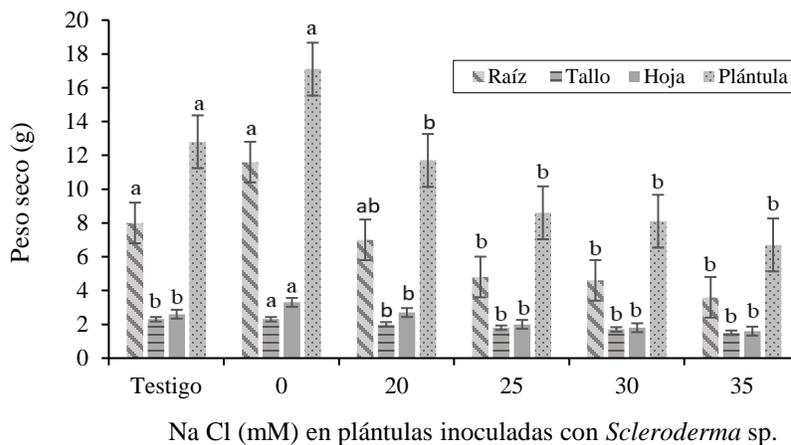


Figura 4. Peso seco de raíz, tallo y hojas en plántulas de nogal pecanero sin inocular e inoculadas con micorriza *Scleroderma* sp. y regadas con diferentes concentraciones de salinidad. Barras verticales (n=5, ± error estándar) dentro de tratamientos con letras desiguales, son estadísticamente diferentes (DMS; $p \leq 0.05$).

Peso seco de tallo

El mayor peso seco del tallo se observó en las plántulas inoculadas y sin NaCl el cual superó en 31% al testigo (Figura 4). Por otro lado, los tratamientos con NaCl en concentraciones de 20, 25, 30 y 35, indujeron una reducción de 13, 21, 26 y 34% en comparación con el testigo.

Peso seco de hojas

Las plántulas inoculadas y desarrolladas bajo condición salina mostraron una disminución en el peso seco de la hoja, en comparación con el testigo (Figura 4). Esta disminución fue de 30 y 38% en los tratamientos con mayor concentración de NaCl. El mayor peso seco se observó en las plántulas inoculadas y desarrolladas bajo condición no salina, el cual fue superior en 21% respecto al testigo.

Peso seco de plántula

Las plántulas testigo mostraron mayor peso seco que las inoculadas con *Scleroderma* sp. y bajo estrés salino, pero fue menor que en las inoculadas con el hongo y bajo condición no salina (Figura 4). Bajo estrés salino de 20 y 35 mM, la disminución de esta variable fue de 8.5 y 47% en comparación con el testigo, pero fue de 31 y 60% con relación a las plántulas inoculadas y sin estrés salino. El peso seco total mostró una tendencia hacia la disminución conforme incremento el nivel de salinidad.

Los resultados aquí encontrados son similares a los observados por (Yi *et al.*, 2008) en plántulas de *Populus tremuloides* Michx. Y *Betula papyrifera* Marsh inoculadas con *Hebeloma crustuliniforme* y *Laccaria bicolor* y estresadas con similares concentraciones de NaCl por seis semanas. Resultados similares encontraron Zwiazek *et al.* (2019) sobre la reducción en el peso seco de en raíz y tallo, en plántulas de *Pinus contorta*, desarrolladas en suelo con presencia de diversos géneros de micorrizas y tratado con 60 y 90 mM NaCl.

Observaciones similares han sido efectuadas por Bandou *et al.* (2006) en plántulas de uva marina, *Coccoloba uvifera* inoculadas con *Scleroderma bermudense*, en las cuales el estrés con NaCl disminuyó la biomasa en todos los niveles de salinidad. Asimismo, en albahaca inoculada con *Rhizophagus irregularis*, mconcentraciones de 91 y 181 mM de NA Cl, disminuyeron el peso seco en el orden de 20 y 38%, Esta respuesta puede estar relacionada con el efecto osmótico de la sal, que limita la absorción de agua y nutrientes, o con la toxicidad directa del ion (Evelin *et al.*, 2009).

Por otro lado, el efecto positivo de las micorrizas sobre el crecimiento y biomasa en plantas bajo condiciones de estrés salino ha sido observado. En plántulas de *Populus tomentosa*, inoculadas con *Glomus constrictum* por Lu *et al.* (2014) y tratadas con 100 mmol L⁻¹ de NaCl el peso seco total fue superior que el testigo, sin inocular y sin estrés salino. Similares resultados se han observado por Parvin *et al.* (2020) en Arroz inoculado con *Funnelliformis mosseae*, *Acaulospora laevis* y *Gigaspora margarit* y bajo estrés salino cuyo incremento en peso seco del tallo y hojas ocurrió tanto en la presencia individual como en grupo.

A la vez las plántulas de *Acacia auriculiformis* inoculadas con micorrizas, mostraron mayor crecimiento que las no inoculadas, bajo condiciones de estrés salino (Giri *et al.*, 2003). En este estudio se observó mayor peso seco en las plántulas micorrizadas y sin NaCl, en comparación con el testigo, sin inocular y sin estrés salino. Similares resultados se han observado en otras especies caducifolias (Ruiz *et al.*, 2012; Estrada *et al.*, 2013; Babuin *et al.*, 2016).

La disminución de Na en la planta, mientras se incrementa la absorción de nutrientes, manteniendo alta tasa de transpiración y conductancia hidráulica de la raíz puede ser un mecanismo importante de resistencia en plantas micorrizadas creciendo en condiciones salinas (Muhsin y Zwiazek, 2002). Asimismo, la respuesta a la salinidad en las plantas micorrizadas y bajo estrés salino, varía dependiendo de la relación entre el huésped y especie vegetal (Ma *et al.*, 2014).

Conclusiones

Bajo condiciones no salinas, las plántulas de nogal inoculadas con *Scleroderma* sp. y sin inocular mostraron la mayor fotosíntesis, conductancia estomática, transpiración, y biomasa. Sin embargo, la presencia de NaCl en cualquier concentración en el medio, causó un efecto adverso, sobre las variables aquí estudiadas. Se sugiere en futuros estudios, aumentar la concentración del hongo e incrementar el número de aplicaciones, bajo condiciones controladas.

Literatura citada

- Babuín, M.; Echeverría, M.; Menéndez, A. and Maiale, S. 2016. Arbuscular mycorrhizal pecan seedlings alleviate effect of restricted water supply. *HortScience*. 51(3):212-215. Doi: <https://doi.org/10.21273/hortsci.51.3.212>.
- Bandou, E.; Lebailly, F.; Muller, F.; Dulormne, M.; Toribio, A.; Chabrol, J.; Courtecuisse R.; Planchette, C.; Prin, Y.; Duponnois, R.; Thiao, M.; Sylla, S.; Dreyfus, B. and Ba, A. 2006. The ectomycorrhizal fungus *Scleroderma bermudense* alleviates salt stress in seagrape (*Coccoloba uvifera* L.) seedlings. *Mycorrhiza*. 16(8):559-565. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-006-0073-6>.
- Bassil, E.; Coku, A. and Blumwald, E. 2012. Cellular ion homeostasis: emerging roles of intracellular NHX Na⁺/H⁺ antiporters in plant growth and development. *J. Exp. Bot.* 63(16):5727-5740. Doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/ers250>.
- Behrooz, A.; Vahdati, K.; Rejali, F.; Lotfi, M.; Saadat, S. and Leslie, Ch. 2019. Arbuscular mycorrhiza and plant growth-promoting bacteria alleviate drought stress in walnut. *HortScience*. 54(6):1087-1092. Doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13961-19>.
- Birhane, E.; Sterck, F. J.; Fetene, M.; Bongers, F. and Kuyper, T. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance photosynthesis, water use efficiency, and growth of frankincense seedlings under pulsed water availability conditions. *Oecologia*. 169(4):895-904. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00442-012-2258-3>.
- Bonito, G.; Brneman, T. and Vilgalys, R. 2011. Ectomycorrhizal fungal diversity in orchards of cultivated pecan (*Carya illinoensis*; Juglandaceae). *Mycorrhiza*. 21(7):601-612. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-011-0368-0>.
- Campos, V. A.; Arreola, A. J.; Trejo, C. R.; Borja, A.; López, S. y Hernández, R. 2017. Respuesta fisiológica, acumulación iónica y peso seco en portainjertos de nogal pecanero (*Carya illinoensis* (wangenh) k. koch) desarrollados bajo condiciones de estrés salino. *Interciencia*. 42(11):744-749.

- Chen, Z.; Zhou, M. X.; Newman, I. A.; Mendham, N. J.; Zhang, G. P. and Shabala, S. 2007. Potassium and sodium relations in salinised barley tissues as a basis of differential salt tolerance. *Funct. Plant Biol.* 34(2):150-162. Doi: <https://doi.org/10.1071/FP06237>.
- Estrada, B.; Aroca, R.; Barea, J. and Ruíz, L. J. M. 2013. Native arbuscular mycorrhizal fungi isolated from a saline habitat improved maize antioxidant systems and plant tolerance to salinity. *Plant Science.* 201(1):42-51. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.11.009>.
- Evelin, H.; Kapoor, R. and Giri, B. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. *Ann. Bot.* 104(7):1263-1280. Doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcp251>.
- Feng, G.; Zhang, F.; Li, X.; Tian, C. T.; Tanq, C. and Rengel, Z. 2006. Uptake of nitrogen from indigenous soil pool by cotton plant inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Comm. Soil Sci. Plant Analysis.* 33(19):3825-3836. Doi: <https://doi.org/10.1081/CSS-120015925>.
- Giri, B.; Kapoor, R. and Mukerji, K. G. 2003. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. *Biol. Fertil. Soils.* 38(3):170-175. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0636-z>.
- Giri, B.; Kapoor, R. and Mukerji, K. G. 2007. Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum*, may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. *Microbial Ecol.* 54(4):753-760. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00248-007-9239-9>.
- Guzmán, H. G.; Cortés, P. A.; Guzmán, D. L.; Ramírez, G. F. and Refugio, S. J. M. 2013. An emendation of *Scleroderma*, new records, and review of the known species in Mexico. *Rev. Mex. Bio.* 84(suplemento):S173-S191. Doi: <https://doi.org/10.7550/rmb.31979>.
- Lee, S. H.; Calvo, P. M.; Chung, G. C. and Zwiazek, J. J. 2010. Role of aquaporins in root water transport of ectomycorrhizal jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings exposed to NaCl and fluoride. *Plant Cell Environ.* 33(5):769-780. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02103.x>
- Li, J.; Bao, S.; Zhang, Y.; Ma, X.; Mishra, K. M.; Sun, J.; Sa, G.; Shen, X.; Polle, A. and Chen, S. 2012. *Paxillus involutus* strains MAJ and NAU mediate K⁺/Na⁺ homeostasis in ectomycorrhizal *Populus×canescens* under NaCl stress. *Plant Physiol.* Doi: <https://doi.org/10.1104/pp.112.195370>. 159(4): 1771-1786.
- Lu, Y. W.; Wang, G. Q.; Meng, Q. J.; Zhang, W. H. and, Duan, B. L. 2014. Growth and physiological responses to arbuscular mycorrhizal fungi and salt stress in dioecious plant *Populus tomentosa*. *Canadian J. Forest Res.* 44(9):1020-1031. Doi: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0009>.
- Ma, X.; Sun, M.; Sa, G.; Zhang, Y.; Li, J.; Sun, J.; Shen, X.; Polle, A. and Chen, S. 2014. Ion fluxes in *Paxillus involutus*-inoculated roots of *Populus×canescens* under saline stress. 108(4):99-108. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.016>.
- Miyamoto, S. and Nesbitt, M. 2011. Effectiveness of soil salinity management practices in basin irrigated pecan orchards. *HortTechnology.* 21(5):569-576. Doi: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.21.5.569>.
- Moreno, I. E.; Ojeda, B. C.; Avila, Q. G.; Prieto, G. B.; Parra, Q. R. and Anchondo, R. T. 2015. Sodium sulfate exposure slows growth of native pecan seedlings. *Rev. Inter. Bot. Exp.* 84(1):80-85. [https://Doi:10.32604/phyton.2015.84.080](https://doi.org/10.32604/phyton.2015.84.080).
- Muhsin, T. M. and Zwiazek, J. J. 2002. Colonization with *Hebeloma crustuliniforme* increases water conductance and limits shoot sodium uptake in white spruce (*Picea glauca*) seedlings. *Plant and Soil* 238(2):217-225. Doi: <https://doi.org/10.1023/A:1014435407735>.

- Nguyen, M.; Calvo, P. M. and Zwiazek, J. 2006. Gas exchange and growth responses of ectomycorrhizal *Picea mariana*, *Picea glauca*, and *Pinus banksiana* seedlings to NaCl and Na₂SO₄. *Plant Biol.* 8(5):646-652. Doi: <https://doi.org/10.1055/s-2006-924106>.
- Parvin, S.; Van, G. M.; Yeasmin, T.; Verbruggen, E. and Honnay, O. 2020. Effects of single and multiple species inocula of arbuscular mycorrhizal fungi on the salinity tolerance of a Bangladeshi rice (*Oryza sativa* L.) cultivar. *Mycorrhiza*. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-020-00957-9>. 30(4):431-444.
- Porcel, R.; Aroca, R.; Azcon, R. and Ruiz, L. J. M. 2016. Regulation of cation transporter genes by the arbuscular mycorrhizal symbiosis in rice plants subjected to salinity suggests improved salt tolerance due to reduced Na⁺ root-to-shoot distribution. *Mycorrhiza*. 26(7):673-684. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-016-0704-5>.
- Ruiz, L. J. M.; Porcel R.; Azcon, C. and Aroca, R. 2012. Regulation of arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *J. Exp. Bot.* 63(11):4033-4044. Doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/ers126>.
- Scagel, C. F.; Bryla, D. R. and Lee, J. 2017. Salt exclusion and mycorrhizal symbiosis increase tolerance to NaCl and KCl₂ salinity in ‘Siam Queen’ basil. *HortScience*. 52(2):278-287. Doi: <https://doi.org/10.21273/hortsci11256-16>.
- Sheng, M.; Tang, M.; Chen, H.; Yang, B.; Zhang, F. and Huang, Y. 2008. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. *Mycorrhiza*. 18(6):287-296. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-008-0180-7>.
- Smith, S. E.; Facelli, E.; Pope, S. and Smith, F. A. 2010. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil*. 326(1):3-20. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9981-5>.
- Syvertsen, J. and Levy, Y. 2005. Salinity interactions with other abiotic and biotic stresses in citrus. *HortTechnology*. 15(1):100-103. Doi: <https://doi.org/10.21273/horttech.15.1.0100>.
- Yang, S. J.; Zhang, Z. L.; Xue, Y. X.; Zhang, Z. F. and Shi, S. Y. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi increase salt tolerance of Apple seedlings. *Bot. Stud.* 55(70):1-7. Doi: <https://doi.org/10.1186/s40529-014-0070-6>.
- Yi, H.; Calvo, P. M.; MacKinnon, M. D. and Zwiazek, J. J. 2008. Responses of ectomycorrhizal *Populus tremuloides* and *Betula papyrifera* seedlings to salinity. *Environ. Exp. Bot.* 62(3):357-363. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.10.008>
- Zwiazek, J. J.; Equiza, M. A.; Karst, J.; Senorans, J.; Wartenbe, M. and Calvo, P. M. 2019. Role of urban ectomycorrhizal fungi in improving the tolerance of lodgepole pine (*Pinus contorta*) seedlings to salt stress. *Mycorrhiza*. 29(4):303-312. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-019-00893-3>.