

## Índice de Tolerancia a Salinidad de Ecotipos de Mango (*Mangifera indica*) en el Caribe Seco Colombiano



Revista EIA  
ISSN 1794-1237  
e-ISSN 2463-0950  
Año XIX/ Volumen 22/ Edición N.43  
Enero - junio 2025  
Reia4323 pp. 1-23

Publicación científica semestral  
Universidad EIA, Envigado, Colombia

### PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Piraneque-Gambasica, N., Aguirre Forero, S. E. y Cruz-O'Byrne, R.  
Índice de Tolerancia a Salinidad de Ecotipos de Mango (*Mangifera indica*) en el Caribe Seco Colombiano

Revista EIA, 22(43), Reia4323 pp. 1-23  
<https://doi.org/10.24050/reia.v22i43.1821>

### ✉ Autor de correspondencia:

Piraneque-Gambasica, N.  
Ph.D Ciencias Agrarias  
Correo electrónico:  
npiraneque@unimagdalena.edu.co

**Recibido:** 30-08-2024

**Aceptado:** 10-12-2024

**Disponible online:** 01-01-2025

✉ NELSON PIRANEQUE-GAMBASICA<sup>1</sup>  
SONIA ESPERANZA AGUIRRE FORERO<sup>1</sup>  
ROSMERY CRUZ-O'BYRNE<sup>2</sup>

1. Universidad del Magdalena, Colombia
2. Universidad de Delaware, Estados Unidos.

### Resumen

La variación climática trae cambio en las precipitaciones con menores volúmenes, pero mayor intensidad, acompañada de sequías prolongadas, incremento en la temperatura y aumento de altura del nivel del mar en zonas costeras induciendo a salinidad del agua de riego y de los suelos. El cultivar «Magdalena river» denominado Hilaza, es un mango reconocido en Colombia por su tolerancia a salinidad, no obstante, fluctúa según los ecotipos de cada región. Por lo que el objetivo del presente artículo fue el de evaluar el comportamiento de cinco ecotipos (ECO) del cultivar a la aplicación de agua con cloruro de sodio con diferentes concentraciones salinas ( $CE < 1084 \mu S.cm^{-1}$ ,  $1084 \mu S.cm^{-1}$ ,  $2163 \mu S.cm^{-1}$ ,  $4031 \mu S.cm^{-1}$  y  $7631 \mu S.cm^{-1}$ ). En macetas de 20 kg de capacidad y en un diseño de bloques al azar, se determinó biomasa aérea, de raíces y total, masa seca, índice de tolerancia salino (ITS), contenido nutricional a nivel foliar e interacciones edáficas de los mismos en un periodo de 160 días. Los resultados no mostraron diferencias significativas en las variables medidas y permitieron verificar que el ECO3 y ECO5 mostraron los mayores ITS (2,59 y 1,81, respectivamente) y la reducción de contenidos foliares de fósforo y nitrógeno, ante el incremento de sodio y calcio, este último elemento importante para atenuar los efectos adversos del NaCl. A nivel edáfico, se incrementó el porcentaje de sodio intercambiable indicador de salinidad de suelos. Los beneficios potenciales obtenidos con ECO3 y ECO5 para su incorporación en programas de mejoramiento vegetal son significativos, siendo de interés para incrementar la tolerancia del mango a condiciones salinas en el Caribe seco colombiano.

**Palabras claves:** Biomasa, *Mangifera indica*, Hilaza, Ecotipo, Magdalena river, Degradación de suelo, Estrés salino, Suelos afectados por sales, Tolerancia a estrés, Sostenibilidad.

---

## Salinity Tolerance Index of Mango (*Mangifera Indica*) Ecotypes in The Dry Colombian Caribbean

### Abstract

Climatic variation changes rainfall with lower volumes but higher intensity, accompanied by prolonged droughts, increased temperature, and increased sea level in coastal areas, inducing salinity of irrigation water and soils. The ‘Magdalena River’ cultivar, known as Hilaza, is a mango recognized in Colombia for its tolerance to salinity; however, it fluctuates according to the ecotypes of each region. Therefore, the aim of this article was to evaluate the behavior of five ecotypes (ECO) of the cultivar to the application of water with sodium chloride with different saline concentrations (EC <1084  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , 1084  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , 2163  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , 4031  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  and 7631  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). In 20 kg pots and a randomized block design, aerial, root, and total biomass, dry mass, salt tolerance index (STI), foliar nutrient content, and soil interactions were determined for 160 days. The results showed no significant differences in the variables measured and allowed to verify that ECO3 and ECO5 showed the highest STI (2.59 and 1.81, respectively) and the reduction of foliar phosphorus and nitrogen contents, with the increase of sodium and calcium, this last element being essential to attenuate the adverse effects of NaCl. At the soil level, the percentage of exchangeable sodium as an indicator of soil salinity increased. The study’s results have practical implications because the potential benefits obtained with ECO3 and ECO5 for their incorporation in plant breeding programs were significant, and they are attractive in increasing mango tolerance to saline conditions in the dry Colombian Caribbean.

**Keywords:** Biomass, *Mangifera indica*, Hilaza, Ecotype, Magdalena river, Soil degradation, Salt stress, Salt-affected soils, Stress tolerance, Sustainability.

### 1. Introducción

La variación del clima trae cambio en las precipitaciones, menores volúmenes, pero mayor intensidad, sequías prolongadas, incremento en la temperatura, aumento de altura del nivel del mar en zonas costeras que induce a salinidad de agua de riego y de suelos entre otros, situación que

afecta la producción agrícola (World Bank, 2012). La sobre explotación de acuíferos y el uso de agua dura en riego afecta cultivos como el mango (*Mangifera indica*) donde la tolerancia a la salinidad del porta-injertos es una de las características más apreciadas a nivel mundial.

Al respecto, para el cultivo del mango, se pronostica mayor frecuencia de episodios de sequía, vientos huracanados y aumento de temperatura, siendo preciso seleccionar porta injerto con raíces profundas y buena tolerancia a suelos salinos, con capacidad de absorción de nutrientes, para mantener rendimiento y calidad de la fruta. A nivel mundial la tendencia en fruticultura es establecer patrones de bajo tamaño (enanizante) y con tolerancia a estrés salino a fin de soportar la producción ante la tendencia escenarios de estrés (Galán Saúco, 2009).

La salinidad amenaza la producción agrícola ( Hopmans et al., 2021), se estima que 4.4% de la capa superficial del suelo y 8.7% del subsuelo, están afectados por sal, principalmente en ambientes áridos y semiáridos, mientras que 20-50% de las tierras irrigadas desarrollan salinidad (Omuto et al., 2020; FAO, 2021b). En Colombia, el 12.3% de los suelos presenta sales y es la región Caribe la de mayor magnitud con 41.78% (IDEAM, 2017), con posibilidad de seguir acumulando sales en superficie (Aguirre et al., 2022; Khamidov et al., 2022; Ullah et al., 2021). Al respecto, la conductividad eléctrica es el principal indicador de sal, aumenta la tensión osmótica en los suelos y afecta el desarrollo vegetal por toxicidad iónica se inhibe la absorción de nutrientes (Karunanantham et al., 2022; Ullah et al., 2021), lo que induce cambios morfológicos, anatómicos, fisiológicos y bioquímicos que impactan la producción agrícola (Chourasia et al., 2022).

Es así que trabajos en frutales arbóreos sugieren que la tolerancia salina depende de la especie y la variedad; por ejemplo, naranja agria posee menor tolerancia a estrés salino, que el mango (Alcudia y Van del Wal, 2016) y particularmente, esta última especie, es uno de los frutos con alta demanda internacional (FAO, 2023; Matheyambath et al., 2016; Okino-Delgado et al., 2020) que ha incrementado en Colombia su registro con 370508 toneladas, principalmente en los departamentos de Cundinamarca (28%) y Magdalena (16.7%) (MinAgricultura, 2021a), con exportaciones a 18 mercados en 2020 (MinAgricultura, 2021b). El departamento del Magdalena desarrolla su producción en clima semiárido y cobija diversas variedades; mango Tommy Atkins, Keitt, Mango de Azúcar e Hilaza - Magdalena river variedad reconocida por su adaptación a condiciones adversas, y es ampliamente usada como patrón de Tommy Atkins, Keitt, Haden y Kent (Abaunza y Yacomelo, 2019 MinAgricultura, 2021b).

Por lo anterior el objetivo del estudio fue identificar índice de tolerancia a salinidad de diferentes ecotipos de *Mangifera indica* var. Magdalena River, para porta injertos, base para mantener los rendimientos de la especie en el área de estudio ante futuros escenarios de salinización.

## 2. Materiales y Métodos

**Ubicación.** El ensayo se estableció en Santa Marta, Magdalena (Colombia), Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal (CDAF) de la Universidad del Magdalena (11°13'24.68" N, 74°11'04.68" W), ubicado a 20 m.s.n.m, temperatura promedio de 29.5°C y precipitación media de 608.8 mm/año y tendencia a disminuir (Sandoval Rivera, 2023).

**Material vegetal.** Los materiales evaluados fueron cinco ecotipos del mango de la variedad *Magdalena River* provenientes de cinco municipios de la región norte de Colombia (Tabla 1), los que fueron trasladados a raíz desnuda y sembrados en maceta de 20 kg de capacidad con suelo del CDAF.

**Tabla 1.** Procedencia del material vegetal y esquema de distribución de experimentos.

Ecotipo	Procedencia	Localización	Características
ECO1	Curumaní	Cesar 09°12'00"N 73°33'00"W	BST, 58 m.s.n.m.; Precipitación media 1200 mm; temperatura media 28°C/año.
ECO2	Bonda Santa Marta	Magdalena 11°14'04"N 74°07'02"W	BST, 81 m.s.n.m.; 501 mm; 27.3°C/año.
ECO3	Calabazo Santa Marta	Magdalena 11°16'56" N 74°01'27"W	BST, 81 m.s.n.m.; 501 mm; 27.3°C/año.
ECO4	Ciénaga	Magdalena 11°00'32" N 74°14'22" W	BST, 400 mm; 28.5°C/año
ECO5	Guachaca Santa Marta	Magdalena. 11°14'51" N 73°50'13" W	Bosque húmedo tropical, 81 m.s.n.m.; 1501 mm; 26°C/año.

El suelo del CDAF es de orden Entisol, suborden psamments, texturas gruesas con predominio de material sedimentario de origen aluvial. Se analizó una muestra compuesta a una profundidad de 0 a 35 m en el laboratorio de AGROSAVIA material destinado para el trasplante y el establecimiento del experimento, obteniéndose los parámetros de la tabla 2.

**Tabla 2.** Propiedades fisicoquímicas del suelo del Centro de Desarrollo Agrícola y Forestal empleado en la investigación.

Propiedad	Unidad	Valor	Método
pH (1:2,5)	Un	7.26	Acidez activa/pH en suelo GA-R-46
Conductividad Eléctrica (C.E)	dSm <sup>-1</sup>	1.4	NTC 5596:2008 Método B
Materia orgánica (MO)	%	2.9	Walkley & Black NTC 5403
Carbono Orgánico (CO)	%	1.69	GA-R-119 versión 4
Capacidad de Intercambio catiónico efectiva (CICe)	cmol(+)/kg	22.53	Cálculo
Nitrógeno total (N)	%	0.145	Cálculo
Fósforo (P)	g kg <sup>-1</sup>	0.352	GA-R-48 versión 7
Calcio (Ca)	cmol(+)/kg	16.88	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 9
Potasio (K)	cmol(+)/kg	1.55	
Magnesio (Mg)	cmol(+)/kg	3.89	
Sodio (Na)	cmol(+)/kg	0.21	
Boro (B)	mg kg <sup>-1</sup>	0.55	
Azufre (S)	mg kg <sup>-1</sup>	0.43	Fosfato monobásico de calcio

El seguimiento de las variables se inició una vez que las plantas se adaptaron a las nuevas condiciones, (30 días posteriores al trasplante en maceta) se realizó aplicaciones foliares de Nutrifoliar de 1 cc/5L de agua, con bomba manual a los 15 y 35 dds y 2.45 cc/5L a los 45 dds y fueron regadas con 250cc de agua destilada hasta obtener brotes nuevos.

### 3. Variables evaluadas.

Durante 160 días se midió Diámetro del tallo (DT) con pie de rey en cm. Longitud del tallo (LT) con cinta métrica en cm. Número de hojas. Secas (HS) y totales (HT) por conteo directo en cada planta. Biomasa

aérea (BMA) y de raíz (BMR) en balanza electrónica luego de lavado con agua destilada. Masa seca aérea (MSA) y de raíz (MSR). Las plantas se secaron a peso constante en una estufa a 60°C durante 48 horas. Desarrollo de la planta (Dp) mediante la relación BMA/BMR, considerando que un valor  $Dp=1$  significa que la BMA es igual a la BMR, si  $Dp<1$  la  $BMR > BMA$  y  $Dp>1$   $BMA > BMR$ .

Finalmente, se calculó el índice de tolerancia a la salinidad (ITS) mediante la ecuación 1 propuesta por Negrão, et al. (2017).

$$ITS = \frac{Y_{control}}{Y_{media\ control}} \times \frac{Y_{salina}}{Y_{media\ control}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:  $Y_{control}$  y  $Y_{salina}$  son los datos de BMT obtenidos para el control (T1) y los tratamientos salinos para cada ecotipo, respectivamente.  $Y_{media\ control}$  es la respuesta en condiciones T1 para toda la población evaluada. Así, mayores valores en ITS indican mayor grado de tolerancia a la sal.

Obtenida la masa seca, las muestras de tejidos fueron molidas y tamizadas en malla de 0.05 mm, se pesó 20 g y se enviaron al laboratorio AGRILAB, donde se determinó contenido de macroelementos (Nt, P, K, Ca, Mg, S) y microelementos (Na, Fe, Mn, Cu, Zn, B) y finalizado el ensayo, se realizó el análisis del sustrato (suelo) a partir de tres muestras compuestas de las macetas por cada uno de los tratamientos.

**Diseño experimental.** El ensayo se estableció en la casa la malla en CDAF en un diseño de bloques al azar, la unidad experimental fue de cinco plantas para un total de 375 plantas. Los factores son Ecotipos y concentración de sales (tratamientos) (Figura 1). Donde, la condición de estrés salino se simuló mediante la aplicación de diferentes concentraciones de NaCl así: T1: Control (CE 124  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), T2: 10 mmol NaCl L<sup>-1</sup> (CE 1084  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ), T3: 20 mmol NaCl L<sup>-1</sup> (CE 2143  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ), T4: 40 mmol NaCl L<sup>-1</sup>(CE 4031  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) y T5: 80 mmol NaCl L<sup>-1</sup>(CE 7631  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ). El NaCl se diluyó en agua destilada y se aplicó en cada maceta en volumen de 500 mL con frecuencia de dos días durante 160 días.

**Figura 1.** Diseño Experimental empleado para verificar el efecto de diferentes concentraciones salinas sobre *M.indica*. E. ECOTIPOS. T Tratamientos: T1: Control (CE 124  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ). T2: 10 mmol NaCl L<sup>-1</sup> (CE 1084  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ). T3: a20 mmol NaCl L<sup>-1</sup> (CE 2143  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ). T4: 40 mmol NaCl L<sup>-1</sup>(CE 4031  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ). T5: 80 mmol NaCl L<sup>-1</sup>(CE 7631  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ).

BLOQUE I					BLOQUE II					BLOQUE III				
E1	E2	E3	E4	E5	E2	E3	E4	E5	E1	E1	E2	E3	E4	E5
T1	T2	T5	T4	T3	T5	T4	T1	T3	T2	T3	T1	T2	T5	T4
T2	T3	T4	T1	T5	T3	T1	T2	T5	T4	T4	T5	T3	T2	T1
T3	T1	T2	T5	T4	T2	T3	T4	T1	T5	T1	T4	T5	T4	T3
T5	T4	T1	T3	T2	T4	T5	T3	T2	T1	T2	T3	T4	T1	T5
T4	T5	T3	T2	T1	T1	T2	T5	T4	T3	T5	T4	T1	T3	T2

**Análisis estadísticos.** Con el fin de determinar las diferencias entre ecotipos según el tratamiento aplicado, se procedió a realizar análisis de varianza (ANOVA) y la prueba HSD de Tukey con nivel de significancia de 0.05, correlación de Pearson entre los parámetros de crecimiento y contenidos nutricionales. Se realizó prueba de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de los datos. Cuando las variables no presentaron normalidad, se usó Kruskal Wallis como prueba no-paramétrica. Todos los análisis se realizaron en el programa R v.4.2.3 (disponible en <https://www.r-project.org/>).

#### 4. Resultados

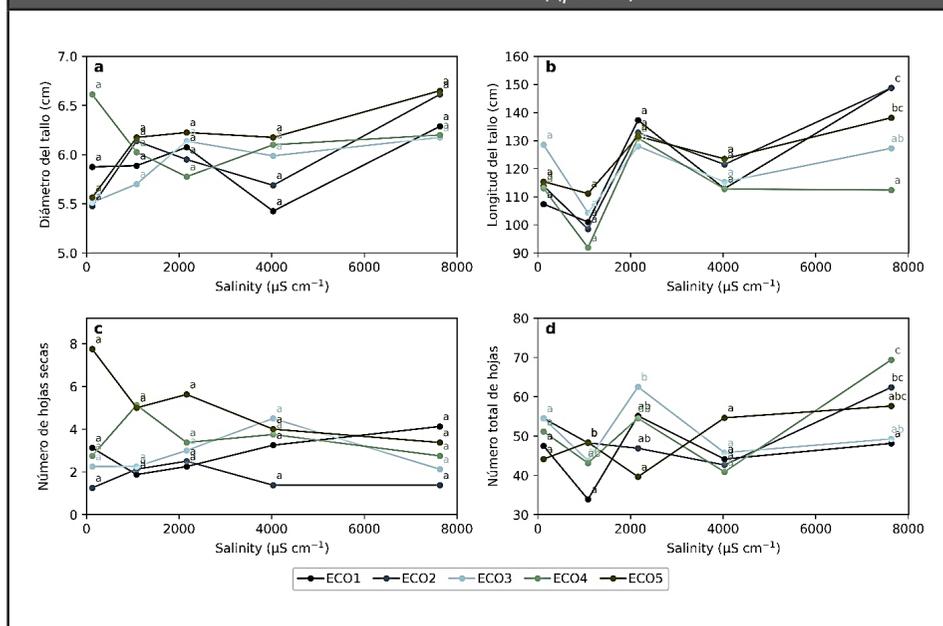
**Diámetro (DT) y longitud del tallo (LT).** El DT de *M. indica* var. Magdalena river no mostró diferencias estadísticas significativas ( $p>0.05$ ) entre ecotipos y tratamientos. Se evidenció que el ECO5 presentó mayor diámetro a mayor concentración de sales (T5), seguido del ECO2. La reducción más fuerte en la variable DT se reportó en el T3-ECO4 con -12.56%. La LT solo evidenció diferencias significativas entre ecotipos respecto al T5 (80 mmol NaCl L<sup>-1</sup> con CE 7631  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) (Figura 2). Por su parte, los ECO1 y ECO2 reportaron mayores LT, siendo el ECO1 el que mostró mayor aumento con 38.53% respecto al control. Las mayores reducciones en LT se presentaron en los ECO3 y ECO4 del T2 con pérdidas de 18.87% y 18.69%, respectivamente.

**Número de hojas (HT).** Exceptuando en el T5, el HT no mostró diferencias ( $p>0.05$ ). El menor valor lo presentó el T2-ECO1 con 28.68 respecto al control, mientras que el T5-ECO4 evidenció 35.70.

**Número de hojas secas (HS).** No mostró diferencias estadísticas ( $p>0.05$ ) entre ecotipos ni tratamientos. El mayor y menor valor de HS se presentó en el control (T1) en los ECO5 y ECO2, respectivamente.

**Biomasa.** Las BMA y BMR no mostraron diferencias ( $p>0.05$ ) entre ecotipos respecto a los tratamientos (Tabla 3). La BMA varió desde 118.03g en el T2-ECO2 hasta 332.78g en el T4-ECO3. La mayor disminución respecto al control se presentó en el T2-ECO5 (-5.39%), mientras que la mayor ganancia en el T4-ECO2 (98.53%). Los mayores incrementos en BMA se registraron en el T3 y T4.

**Figura 2.** Variables determinadas ecotipos de *M. indica* var. Magdalena river bajo diferentes concentraciones salinas, ( $p>0.05$ ).



La BMR se ubicó entre 44.80g y 108.53g en los ECO4-T2 y ECO5-T3, respectivamente. Los mayores aumentos respecto al control se presentaron con el T3 en todos los ecotipos, siendo el ECO1 con mayor valor (79.94%), seguido de ECO5 (57.00%) y ECO4 (52.50%). Las pérdidas de BMR se presentaron en el T2 en ECO4 (-13.76%) y ECO3 (-5.58%). Al analizar las diferencias entre tratamientos según los ecotipos, el ECO2 evidencia diferencias de BMA. Considerando BMA y BMR, el desarrollo de la planta (Dp) presentó valores  $>1$  para todos los ecotipos y tratamientos evaluados, evidenciando que para todos los casos el desarrollo aéreo fue mayor que el de la raíz.

**Tabla 3.** Biomasa de cinco ecotipos de *M. indica* var. Magdalena river bajo diferentes concentraciones salinas. Medias (columnas) no presento diferencias significativas ( $p>0.05$ ).

Ecotipo	BMA (g)				
	T1	T2	T3	T4	T5
ECO1	145,28 <sup>a</sup>	182,78 <sup>a</sup>	188,35 <sup>a</sup>	186,23 <sup>a</sup>	191,58 <sup>a</sup>
ECO2	119,10 <sup>a</sup>	118,03 <sup>a</sup>	198,48 <sup>a</sup>	236,45 <sup>a</sup>	141,78 <sup>a</sup>
ECO3	181,75 <sup>a</sup>	169,55 <sup>a</sup>	307,30 <sup>a</sup>	332,78 <sup>a</sup>	179,00 <sup>a</sup>
ECO4	119,80 <sup>a</sup>	124,48 <sup>a</sup>	197,25 <sup>a</sup>	197,40 <sup>a</sup>	152,03 <sup>a</sup>
ECO5	151,28 <sup>a</sup>	143,13 <sup>a</sup>	227,65 <sup>a</sup>	245,78 <sup>a</sup>	155,80 <sup>a</sup>
BMR (g)					
ECO1	52,35 <sup>a</sup>	70,18 <sup>a</sup>	94,20 <sup>a</sup>	68,13 <sup>a</sup>	77,68 <sup>a</sup>
ECO2	49,95 <sup>a</sup>	56,40 <sup>a</sup>	71,68 <sup>a</sup>	62,25 <sup>a</sup>	57,08 <sup>a</sup>
ECO3	70,38 <sup>a</sup>	66,45 <sup>a</sup>	103,95 <sup>a</sup>	87,83 <sup>a</sup>	79,45 <sup>a</sup>
ECO4	51,95 <sup>a</sup>	44,80 <sup>a</sup>	79,23 <sup>a</sup>	73,88 <sup>a</sup>	60,08 <sup>a</sup>
ECO5	69,13 <sup>a</sup>	69,55 <sup>a</sup>	108,53 <sup>a</sup>	91,25 <sup>a</sup>	67,08 <sup>a</sup>
BMT (g)					
ECO1	197,63	252,95	282,55	254,35	269,25
ECO2	169,05	174,43	270,15	298,70	198,85
ECO3	252,13	236,00	411,25	420,60	258,45
ECO4	171,75	169,28	276,48	271,28	212,10
ECO5	220,40	212,68	336,18	337,03	222,88

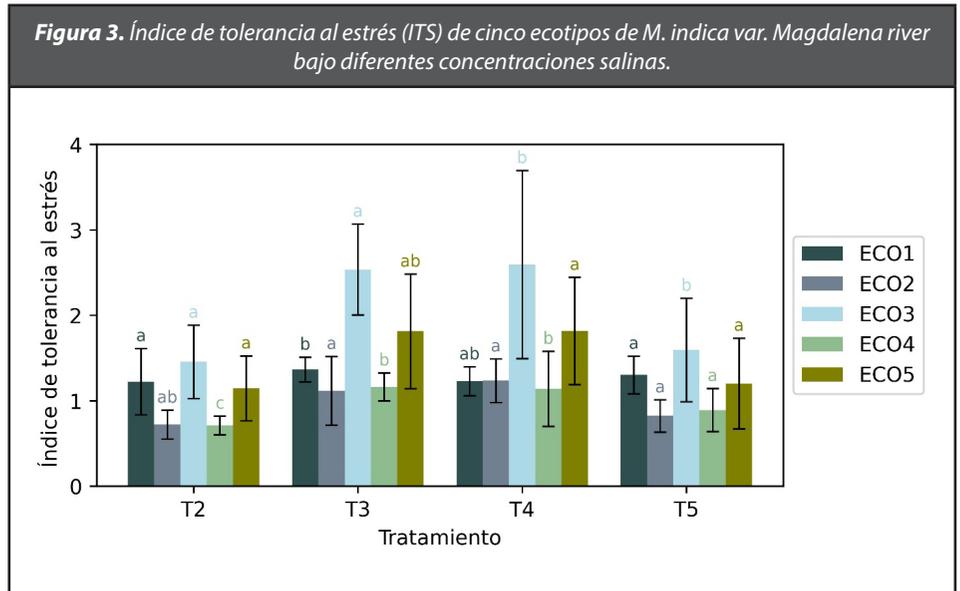
La mayor BMT se presentó en T4-ECO3, mientras que los menores valores se obtuvieron en T1-ECO2 y T2-ECO4. Sin embargo, las mayores ganancias respecto al control se dieron en el T4-ECO2 (76.69%) y las pérdidas más altas en el T2-ECO3 (-6.40%). En el 80% de los casos, se presentó aumentos significativos en BMT con incremento de la concentración salina hasta 4031  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , para luego descender cuando se aplica una concentración mayor.

Masa seca. MSA y MSR (Tabla 4) no mostraron diferencias ( $p>0.05$ ) entre ecotipos (Tabla 3). El ECO1 presentó diferencias en MSA y MSR entre tratamientos, mientras que ECO4 sólo en su MSA. La MSA más alta fue en el T4-ECO3, no obstante, en el T4-ECO4 se mostró el mayor aumento respecto al control (97.29%). El T5-ECO3 presentó la mayor MSR, pero la ganancia más alta se evidenció en el ECO1 (87.40%). Las MSA y MSR más bajas la evidenció el T2-ECO4. Las mayores MST se presentaron en los ecotipos 1 y 3. ECO1 tuvo mayor MST en los T2 y T5, mientras que ECO3 en T1, T3 y T4. Las ganancias más altas se dieron en el T5-ECO1 (82.20%) y T4-ECO4 (82.01%) y las pérdidas en el T2 para todos los ecotipos exceptuando ECO2, siendo el ECO4 el que presentó la mayor disminución (-0.68%).

**Tabla 4.** Medidas de masa seca aérea (MSA), de raíz (MSR) y total (MST) de cinco ecotipos de *M. indica* var. Magdalena river bajo diferentes concentraciones salinas. Medias (columnas) con una letra en común no son significativamente diferentes ( $p>0.05$ ).

Ecotipo	BMA (g)				
	T1	T2	T3	T4	T5
ECO1	68,30 <sup>a</sup>	80,10 <sup>a</sup>	97,40 <sup>a</sup>	94,63 <sup>a</sup>	123,10 <sup>a</sup>
ECO2	55,15 <sup>a</sup>	51,68 <sup>a</sup>	77,30 <sup>a</sup>	91,93 <sup>a</sup>	84,30 <sup>a</sup>
ECO3	82,98 <sup>a</sup>	74,38 <sup>a</sup>	115,55 <sup>a</sup>	133,88 <sup>a</sup>	107,80 <sup>a</sup>
ECO4	61,88 <sup>a</sup>	50,68 <sup>a</sup>	99,40 <sup>a</sup>	122,08 <sup>a</sup>	93,70 <sup>a</sup>
ECO5	68,70 <sup>a</sup>	63,78 <sup>a</sup>	99,08 <sup>a</sup>	126,23 <sup>a</sup>	95,13 <sup>a</sup>
BMR (g)					
ECO1	25,80 <sup>a</sup>	27,83 <sup>a</sup>	38,03 <sup>a</sup>	32,38 <sup>a</sup>	48,35 <sup>a</sup>
ECO2	22,90 <sup>a</sup>	22,25 <sup>a</sup>	30,15 <sup>a</sup>	32,73 <sup>a</sup>	34,93 <sup>a</sup>
ECO3	33,98 <sup>a</sup>	28,13 <sup>a</sup>	36,80 <sup>a</sup>	41,43 <sup>a</sup>	46,18 <sup>a</sup>
ECO4	24,30 <sup>a</sup>	17,68 <sup>a</sup>	30,03 <sup>a</sup>	34,78 <sup>a</sup>	37,23 <sup>a</sup>
ECO5	31,80 <sup>a</sup>	28,13 <sup>a</sup>	39,60 <sup>a</sup>	44,15 <sup>a</sup>	39,95 <sup>a</sup>
BMT (g)					
ECO1	94,10	107,93	135,43	127,00	171,45
ECO2	78,05	73,93	107,45	124,65	119,23
ECO3	116,95	102,50	152,35	175,30	153,98
ECO4	86,18	68,35	129,43	156,85	130,93
ECO5	100,50	91,90	138,68	170,38	135,08

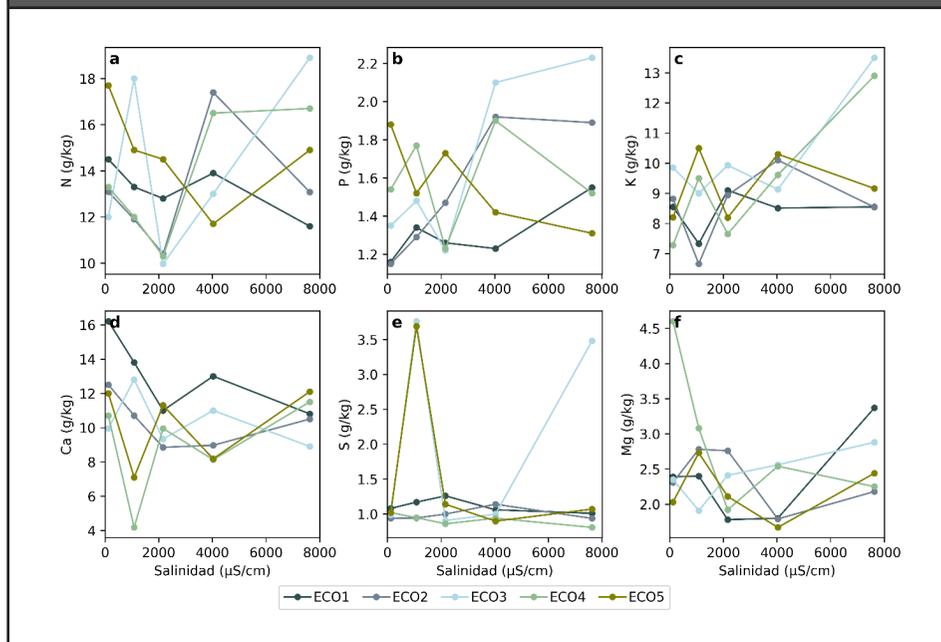
Índice de tolerancia a la salinidad (ITS). Los valores de ITS de los cinco ecotipos en respuesta a los tratamientos aplicados se observan en la (Figura 3). El tratamiento control, por no presentar salinidad, no fue tenido en cuenta para esta evaluación. El ECO3 reportó la mayor tolerancia en todos los tratamientos, con mayor índice en el T4 (2,59) y el T3 (2,54), seguido del T4 del ECO5 (1,81). El menor ITS se evidenció en los ECO4 (0,71) y ECO2 (0,72) en el T2 (Fig.3).



**Contenido Foliar de nutrientes.** El contenido de macro y microelementos en los tejidos foliares no mostró diferencias ( $p > 0.05$ ) entre ecotipos (Figura 4). A nivel de macroelementos, los mayores valores de N y P se situaron en el ECO4 en los T4 y T2, respectivamente. El T1-ECO1 mostró mayor  $Ca^{2+}$ , mientras que el ECO3 presentó los niveles más elevados de  $Mg^{2+}$  (T3), K (T3) y S (T2). Respecto a microelementos, en T5 se presentaron los mayores contenidos de Fe y Mn en el ECO1, B en el ECO4, y  $Na^+$  en el ECO2. Por otro lado, el T1-ECO4 mostró los mayores valores de Zn y el T2-ECO5 de Cu.

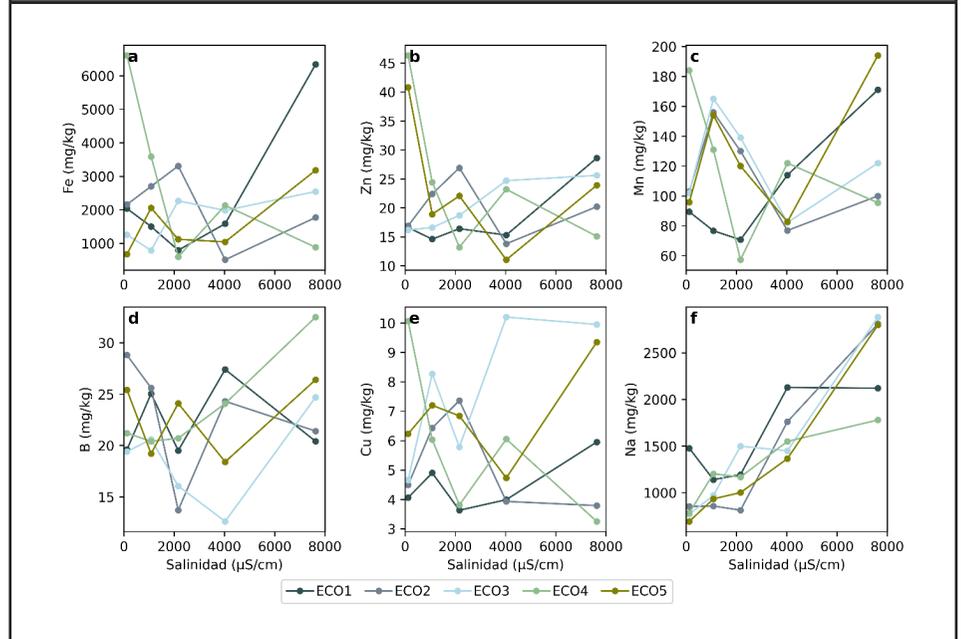
Con relación a los menores contenidos, en el ECO1 se presentaron los valores más bajos de P y Cu en el T1 y T2, respectivamente. En el T3-ECO2 se evidenció el menor contenido de Nt y en el T4 de Fe, Mn y Zn. El menor contenido de  $K^+$  se identificó en el T3-ECO4, mientras que en el ECO5 se presentaron los valores más bajos de  $Ca^{2+}$ . El contenido de macroelementos en tejidos foliares entre tratamientos, no evidencio diferencias ( $p > 0.05$ ) solo  $K^+$  presento un rango mayor en el ECO4.

**Figura 4.** Análisis foliar de macroelementos de cinco ecotipos de *M. indica* var. Magdalena river bajo diferentes concentraciones salinas. ( $p>0.05$ ).



De forma similar, el contenido de microelementos a nivel foliar no presentó diferencias significativas entre tratamientos ni ecotipos. Se identificó que contenido de  $\text{Na}^+$  aumenta por tratamiento respecto al testigo (T1) lo que es racional, por la concentración de sales aplicadas durante el ensayo, no obstante, el ECO4 presentó menor acumulación de  $\text{Na}^+$  especialmente en el T5 comportamiento similar al analizar contenido de S. Respecto a contenido de Fe llama la atención que su contenido foliar se redujo a medida que aumentó la concentración de sales, lo que puede inducir a clorosis férrica.

**Figura 5.** Concentración foliar de microelementos de cinco ecotipos de *M. indica* var. Magdalena river bajo diferentes concentraciones salinas ( $p>0.05$ ).



La concentración foliar de elementos como Fe presento una tendencia a disminuir a medida que se aumenta la dosis de NaCl (T5).

Respecto a la concentración foliar de  $\text{Na}^+$ , el límite de tolerancia de cada cultivo es distinto, pero para muchas especies arbóreas la toxicidad se presenta cuando el  $\text{Na}^+$  representa un porcentaje superior al 0,25 – 0,50 % respecto al peso seco de la hoja lo que produce quemadura del tejido en los bordes exteriores de las hojas y entre las nerviaciones, síntomas que se observan primero en hojas viejas, por ser las que más sodio han acumulado (Porta y López-Acebedo,1986). No obstante, el efecto tóxico del  $\text{Na}^+$  no depende de la concentración absoluta de este catión en el suelo, sino de su proporción respecto al Ca (García, 2012).

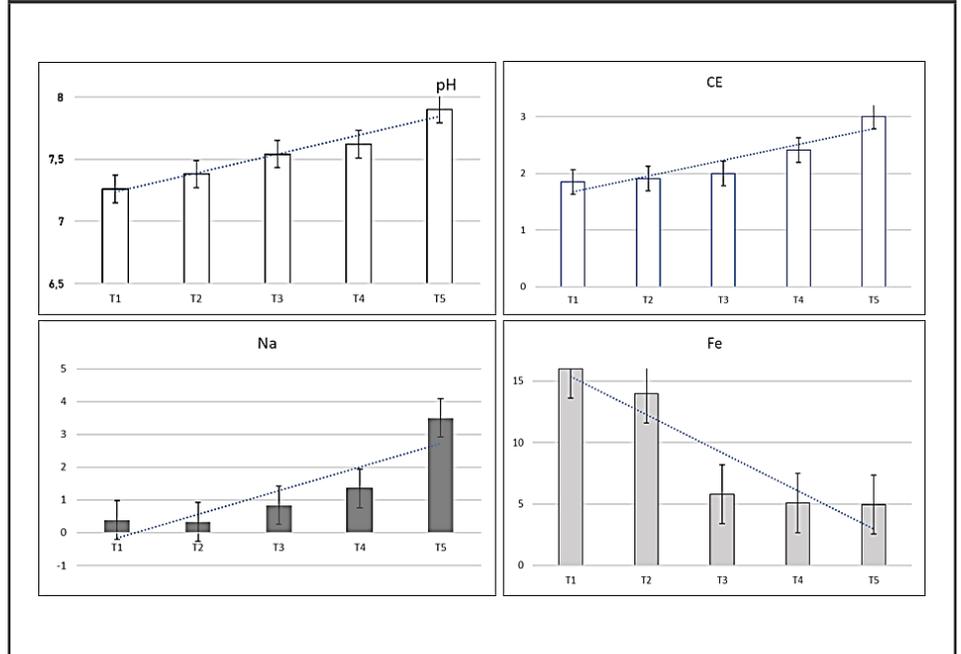
**Tabla 5.** Resultados del análisis de suelo una vez se culmina el ensayo.

Variable	Unidad	T1	T2	T3	T4	T5
<b>pH</b>	Unid	7,26	7,38	7,54	7,62	7,9
<b>CE</b>	dS/m	1,85	1,91	2	2,41	3
<b>P</b>	mg/kg	280,9	328,16	340,34	465	456
<b>Ca</b>	cmol(+)/kg	6,57	6,7	7,7	7,97	8,25
<b>Mg</b>	cmol(+)/kg	2,87	2,26	2,06	2,28	2,42
<b>K</b>	cmol(+)/kg	0,82	0,86	0,87	0,89	1,31
<b>Na</b>	cmol(+)/kg	0,386	0,331	0,84	1,35	3,5
<b>S</b>	mg/kg	57,4	66,06	54,5	69,07	68,06
<b>Fe</b>	mg/kg	16	14	5,8	5,09	4,95
<b>Cu</b>	mg/kg	1,972	0,927	0,47	0,32	0,29
<b>Zn</b>	mg/kg	3,5	3,8	2,8	2,77	2,42
<b>CIC</b>	cmol(+)/kg	12,4	11,8	12	11,6	13,8

En la tabla 5, se observan resultados del análisis de los suelos por tratamiento (T) una vez termino el ensayo. El pH y la CE del suelo de las macetas se incrementó al aumentar la concentración de NaCl al agua de riego. Al respecto, es importante resaltar la interacción de nutrientes y su efecto directo sobre la disponibilidad para la planta, los elementos que tienen carga positiva están retenidos por los coloides del suelo de cargas negativas como arcillas y la materia orgánica. La concentración de H<sup>+</sup> marca el pH del suelo y es considerado un indicador de la disponibilidad de nutrientes (Orosco-Alcalá et al., 2018). Así mismo, las plantas absorben aquellos elementos que están disueltos en el agua, por lo que los elementos retenidos en el suelo no pueden ser directamente aprovechados. Sin embargo, los análisis dan una radiografía de su disponibilidad y predicen algunas posibles interacciones a nivel edáfico y en determinadas ocasiones, estos elementos pueden pasar al agua del sustrato y ser asimilados por la planta (Aguirre et al., 2022).

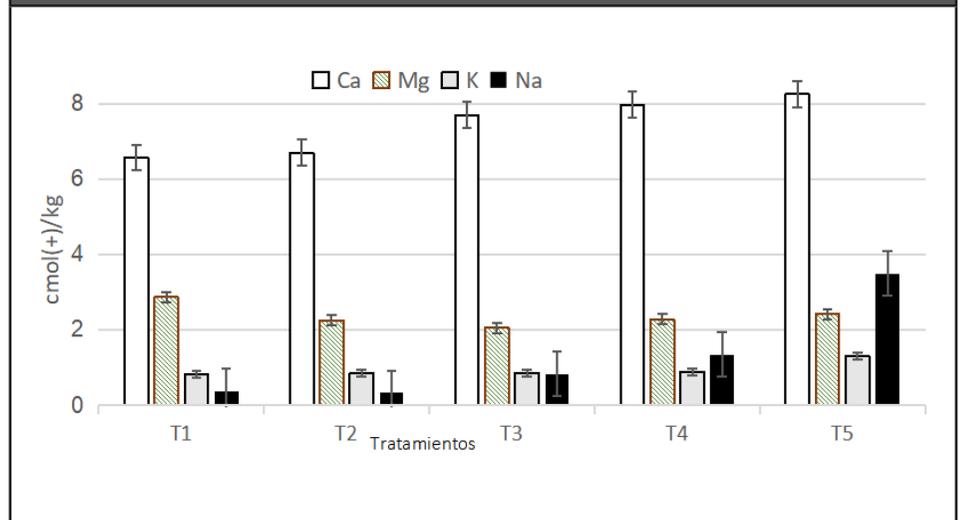
La figura 6 muestra la tendencia positiva de las variables pH, CE, y de algunos cationes (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) a medida que se aumenta la concentración de sales por tratamiento. En contraste, se observó tendencia negativa de la concentración de Fe, Cu y Zn, siendo lógico que a medida que el pH aumenta se disminuya su concentración.

Figura 6. Contenido y tendencia de algunas variables del suelo luego de la aplicación de diferentes concentraciones salinas.



Cuando en un suelo se aumenta la concentración de  $\text{Na}^+$  puede actuar sobre la estructura y su adsorción entra a competir con otros cationes. Así, el  $\text{Na}^+$  es un elemento que tiene un efecto negativo sobre la mayoría de las plantas debido a su toxicidad. No obstante, no hay que confundir salinidad (que indica el total de sales presentes en el suelo, sin especificar cual predomina), con tener un suelo sódico (Stavi, Thevs y Priori, 2021).

Figura 7. Concentración de Ca, Mg, K y Na en suelo tras la aplicación de diferentes concentraciones de NaCl.

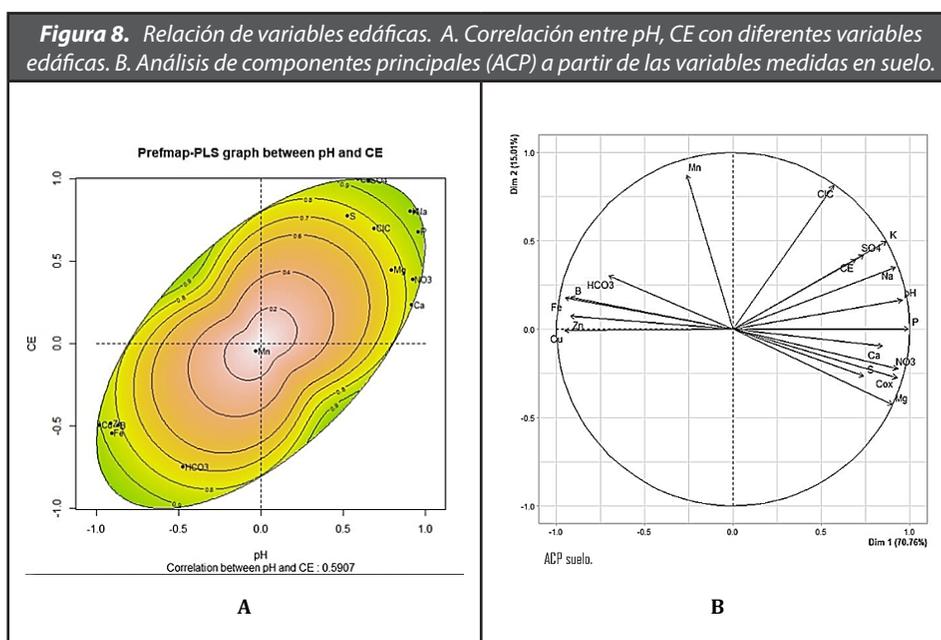


De lo anterior, y de conformidad a lo mostrado por la figura 7, la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  en el suelo es importante, porque el efecto tóxico del  $\text{Na}^+$  no depende de la concentración absoluta de este catión, sino de su proporción respecto al  $\text{Ca}^{2+}$  (García, 2012). Por tal razón, la tolerancia de los cultivos se relaciona con el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) del suelo (Liang et al., 2018).

Para el cálculo del PSI es necesario determinar el contenido de sodio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y representa el porcentaje de sodio respecto a los demás cationes adsorbidos que se expresa en forma de porcentaje:  $\text{PSI} = 100 \times \text{Na}/\text{CIC}$  (cmol/kg) donde un PSI mayor del 15% es característico de suelos los sódicos. Al respecto el cálculo por tratamiento el PSI del suelo reporto; T1= 3.2%, T2=2,8% T3=7%, T4=11.7% y T5= 24%.

Desde otra perspectiva, un exceso de bases como el calcio (Ca) intercambiable puede interferir en la absorción del  $\text{Mg}^{2+}$  y del  $\text{K}^+$ . Si la relación Ca/Mg, expresados en cmol (+) /kg, es mayor de 10, es posible que se produzca una deficiencia inducida de Mg, lo que perjudica sustancialmente cualquier especie al ser este elemento molécula central de la clorofila. Por último, la relación entre  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$  puede verse alterada por la presencia de carbonatos y de bicarbonatos del suelo (Al-Busaidi y Cookson, 2003, Rengasamy, 2010).

Por su parte, el comportamiento de las variables respecto a pH, y CE se aprecia en la figura 8 A. la fuerte relación entre éstas con  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y P, e inversa con Fe, Zn y Cu tendencia que es ratificada en el ACP de la figura 8 B. y confirma la interacción entre los elementos del suelo.



## 5. Discusión

Algunos autores argumentan que la sensibilidad de la planta a la salinidad está determinada por la composición de las sales y no por su concentración, sin embargo, alrededor del 50% de los suelos afectados, son sódicos, aumentando el estrés osmótico e iónico, que limita el estado hídrico de la planta y los rendimientos (Jung y McCouch, 2013; Orosco-Alcalá et al., 2018), y es el estrés salino causado por altas concentraciones de sodio ( $\text{Na}^+$ ) y cloro ( $\text{Cl}^-$ ) en la solución nutritiva lo que provoca alteraciones metabólicas en el desarrollo vegetal (Quintana-Blanco et al., 2016), estudios en India y México en *Mangifera indica* en estrés salino exponen menor número de hojas y mayor senescencia foliar en la medida que se incrementa la salinidad y la conductividad eléctrica del suelo (Alcudia y Van del Wal, 2016; Deivasigamani et al., 2018). A su vez, Ahmed et al. (2020) en Pakistan reportan entorchamiento de hojas y muerte prematura de algunos cultivares sensibles, e indicaron que el cultivar “Langra” presenta tolerancia a salinidad, señalando que existen diferentes ecotipos en otras zonas con potencial de tolerancia.

Lo anterior coincide con los encontrados en este ensayo, donde se evidenció que los mejores comportamientos del índice de tolerancia al estrés salino (ITS) se mostraron en los ECO3 (T4 y T5) y ECO5 (T4) de Magdalena river, no obstante, no se presentaron diferencias significativas, en las otras variables (DT y LT) respecto al control (T1) durante el ensayo. Por lo que la mayoría de las unidades experimentales no perdieron hojas, sólo evidenciaron disminución en el número total (HT) T5-ECO3, lo que confirma tolerancia y adaptabilidad de la variedad *Magdalena river* a las condiciones de estrés salina en la zona. Tanto así que la producción de biomasa se incrementó hasta el tratamiento cuatro (T4 = CE 4031  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) pero luego se redujo cerca de 30% cuando se elevó la CE a 7631  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (T5), ratificando lo enunciado en ensayos similares de estrés a la salinidad en India y México en portainjertos de las variedades Alphonso, Banganapalli, Sendhuram, Neelum y Bangalora, que comprimieron el diámetro y la altura a medida que aumentan la concentración de NaCl (Alcudia y Van del Wal, 2016; Deivasigamani et al., 2018) situación usual debido a alteraciones bioquímicas y fisiológicas que produce el estrés salino (Alam, et al., 2016; Chourasia et al., 2022). De igual manera, Lucena et al. (2012) argumentaron que las variedades Haden, Palmer, Tommy Atkins y Ubá, acortaron significativamente su parte foliar por el estrés salino.

Los resultados de este ensayo sugieren que el ECO3 respondió de manera diferencial a los contenidos de NaCl aplicados en solución al suelo, y que puede haber adaptado mecanismos para superar el estrés, como lo expuso el ITS. Por lo que pueden ser considerados con

potencial para estudios en programas de mejoramiento (ECO3 y el ECO5) pero queda por resolver si esta tolerancia se debe a mecanismos como la exclusión de iones (tolerancia osmótica) o tisular (Karthika y Govintharaj, 2022; Munns y Tester, 2008). Investigaciones realizadas por Laxmi et al. (2021) en mango, sugieren que la acumulación significativamente alta de prolina, glicina betaína y **azúcares totales**, es un mecanismo común empleado por los cultivares tolerantes para contrarrestar el estrés osmótico en condiciones subóptimas, minimizando aumento de la actividad de la superóxido dismutasa y la catalasa en los cultivares poliembriónicos de origen indio (Kurukkan y Nekkare) claves en la regulación redox como mecanismo de la tolerancia a sal (Laxmi et al. 2021).

Respecto al análisis de nutrientes en hojas, no se reportó diferencias significativas entre tratamientos y se evidencio incremento del macro nutrientes para la mayoría de ecotipos a medida que aumenta la concentración de NaCl, resultados que concuerdan con los reportados para la variedad Osteen (Duran et al., 2004). Sin embargo, difirieron en el contenido de N, pues mientras en la variedad Magdalena river aumentan, en la Osteen disminuye. No obstante, la concentración de K presentó diferencias en su contenido foliar, la mayor acumulación se dio en ECO T5 (T3 y T4) y la menor en ECO4-T3, los contenidos de  $Ca^{++}$  a nivel foliar fueron mayores en el control, excepto para ECO1(T3). Como era de esperarse, la concentración foliar de  $Na^{+}$  aumenta cuando se incrementa la concentración de los tratamientos. Se identificó que el ecotipo con menor concentración foliar de  $Na^{+}$  al aplicar el T5 (máx. NaCl) fue ECO4 y para el T4 fue ECO3.

En relación con el comportamiento de las variables edáficas pH, CE y CIC no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, se observó tendencia positiva al aumentar la concentración de NaCl. Es de destacar que con un pH superior 6.5, CE en ascenso y contenidos altos de  $Ca^{2+}$  (figura 7), se puede precipitar el  $Mg^{++}$  y el  $Ca^{++}$  en forma de carbonatos y bicarbonatos y un exceso de carbonatos y bicarbonatos en las aguas de riego, aumenta el PSI y la relación de absorción de sodio (RAS), lo que se intensificaría en época de sequía cuando hay déficit de agua en el suelo (García, 2012).

Al respecto y de acuerdo con Richards (1954), el  $Na^{+}$  ocupa más del 15% de la capacidad de intercambio de cationes (CIC) en los suelos sódicos. Esta observación condujo al uso del Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)  $\geq 15$  como indicador de diagnóstico de suelos sódicos, características aplicada ampliamente para la clasificar suelos afectados por salinidad (Chhabra, 2005; Zaman et al., 2018; FAO, 2021a; 2021b). En esta investigación, el PSI del T5 fue de 24% indicando suelo sódico, mientras que en el T4 fue de 11.7% con tendencia a la

sodicidad, características que sumadas a las condiciones climáticas de la zona (radiación y temperaturas alta) favorece la pérdida de humedad por evapotranspiración e incrementan la concentración de sal (especialmente Na) en el suelo con efectos marcados en la absorción de agua, disponibilidad de nutrientes y **daño en estructura** edáfica. Pese a esto, los resultados evidenciaron que en los tratamientos T5 y T4 de los ECO3 y ECO5 de la variedad *Magdalena river* toleran la salinidad del suelo. Resultados que concuerdan con lo argumentado por Galán Saúco (2009), quien indica que patrones de Turpentine y Number 11, usados en Florida se adaptan y toleran elevado pH del suelo, mientras que el patrón Hilacha, el más utilizado en Colombia, evidencia características similares y posee un sistema de raíces bien desarrollado que le proporciona buena tolerancia a condiciones adversas.

La salinidad del suelo influyó en el comportamiento agronómico de los ecotipos evaluados. identificando a partir de las variables medidas, diferencias entre los ecotipos, así, se logró determinar el índice de tolerancia a la salinidad del ECO3 proveniente de Calabazo y del ECO5 proveniente de Guachaca, pueden priorizarse para ser incorporados en programas de mejoramiento vegetal. Así mismo, el impacto de las sales del suelo sobre los ecotipos de *Mangifera indica* var. *Magdalena river* evaluados, establece bases para una mejor gestión del cultivo e incorporar como porta injertos ecotipos que presenten más tolerancia a la salinidad.

## Agradecimientos

Los Autores agradecen a los estudiantes Henry Carvajal Simanca y Layde Joahana De la Valle Silva por su invaluable colaboración como pasantes en la investigación y a la vicerrectoría de investigación de la Universidad del Magdalena por su apoyo financiero.

## Conflicto de Intereses

El manuscrito fue elaborado y revisado por todos los autores, que declaran la ausencia de cualquier conflicto que puede poner la validez de los resultados en riesgo.

## Referencias

- Abaunza, C.; Yacomelo, M. (2019). Recomendaciones de manejo en vivero para la producción de mango (*Mangifera indica* L.) con énfasis en sustratos, patrones e injertos en Colombia. Agrosavia. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual-20>.
- Aguirre, S.; Piraneque, N.; Mercado, T. (2022). Suelo y cambio climático. Incluye estudio de casos. Editorial Unimagdalena. <https://doi.org/10.21676/9789587464993>
- Ahmed, N.; Khalid, S.; Grewal, A.; Ali, M.; Anjum, M.; Rahi, A.; Danish, S. (2020). Performance of mango scion cultivars under various levels of artificially induced salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*, 52(4), pp. 1143–1158. [https://doi.org/10.30848/PJB2020-4\(11\)](https://doi.org/10.30848/PJB2020-4(11))
- Al-Busaidi, A. S.; Cookson, P. (2003). Salinity–pH relationships in calcareous soils. *Journal of Agricultural and Marine Sciences [JAMS]*, 8(1), pp. 41-46
- Alam, Md. A.; Juraimi, A.; Rafii, M.; Hamid, A.; Aslani, F.; Hakim, M. (2016). Salinity-induced changes in the morphology and major mineral nutrient composition of purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions. *Biological Research*, 49(24), pp. 1-19 <https://doi.org/10.1186/s40659-016-0084-5>
- Alcudia, A.; Van del Wal, H. (2016). Salinidad, composición botánica y crecimiento de especies frutales en huertos familiares de Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(10), pp. 1-12. <https://doi.org/10.19136/era.a4n10.691>
- Chourasia, K.; More, S.; Kumar, A.; Kumar, D.; Singh, B.; Bhardwaj, V.; Kumar, A.; Das, S.; Singh, R.; Zinta, G.; Tiwari, R.; Lal, M. (2022). Salinity responses and tolerance mechanisms in underground vegetable crops: an integrative review. *Planta*, 255, 68. <https://doi.org/10.1007/s00425-022-03845-y>
- Deivasigamani, P.; Vijayakumar, R.; Balakrishnan, S.; Arulmozhiselvan, K.; Sivakumar, R. (2018). Effect of salt stress on morphological characters of mango rootstocks. *International Journal of Chemical Studies*, 6(5), pp. 387–389. <https://www.chemijournal.com/archives/2018/vol6issue5/PartG/6-2-419-527.pdf>
- Duran, V.; Martínez, A.; Aguilar, J.; Franco, D. (2004). Impact of salinity on macro- and micronutrients uptake in mango (*Mangifera indica* L. cv. Osteen) with different rootstocks. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2(1), pp. 121-134. <https://doi.org/10.5424/sjar/2004021-67>
- FAO. (2021a). Cultivos y productos de ganadería: Mangos, guayabas y mangostanes. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- FAO. (2021b). World map of salt-affected soils launched at virtual conference. <https://www.fao.org/newsroom/detail/salt-affected-soils-map-symposium/en>
- FAO. (2023). Principales frutas tropicales: Análisis de mercado - Resultados preliminares 2022. FAO. <https://www.fao.org/3/cc3939es/cc3939es.pdf>

- Hopmans, J.; Qureshi, A.; Kisekka, I.; Munns, R.; Grattan, S.; Rengasamy, P.; Bengal, A.; Assouline, S.; Javaux, M.; Minhas, P.; Raats, P.; Skaggs, T.; Wang, G.; De Jong, Q.; Jiao, H.; Lavado, R.; Lazarovitch, N.; Li, B.; Taleisnik, E. (2021). Critical knowledge gaps and research priorities in global soil salinity. *Advances in Agronomy*, 169, pp. 1–191. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.03.001>
- IDEAM. (2017). Proporción del área de suelos degradados por salinización. *Indicadores Tierras y Suelos*. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/suelo-y-tierra>
- Jung, J. K.; McCouch, S. (2013). Getting to the roots of it: genetic and hormonal control of root architecture. *Frontiers in plant science*, 4, pp. 1-32. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00186>
- García, A. (2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 6, pp. 27-36. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6%20Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
- Galán Saúco, V. (2009). Patrones de mango. *Revisión de literatura y entrevistas. Fruticultura tropical*, 1, pp. 1-55 [https://www.mango.org/wp-content/uploads/2018/03/Proyecto\\_de\\_Patrones\\_de\\_Mango\\_Informe\\_Final\\_Spn.pdf](https://www.mango.org/wp-content/uploads/2018/03/Proyecto_de_Patrones_de_Mango_Informe_Final_Spn.pdf)
- Karthika, G.; Govinatharaj, P. (2022). Breeding climate-resilience crops for future agriculture, Shanker, Arun K.; Shanker, Chitra; Anand, Anjali; Maheswari, M. *Climate Change and Crop Stress*, Londres: Academic Press, pp. 1–32. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816091-6.00009-2>
- Karunanantham, K.; Lakshminarayanan, S.; Ganesamurthi, A.; Ramasamy, K.; Rajamony, V. (2022). Arbuscular mycorrhiza—A health engineer for abiotic stress alleviation, Dubey, R. C.; Kumar, P., *Rhizosphere Engineering*, Londres: Academic Press, pp. 171–198. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89973-4.00019-3>
- Khamidov, M.; Ishchanov, J.; Hamidov, A.; Donmez, C.; Djumaboev, K. (2022). Assessment of Soil Salinity Changes under the Climate Change in the Khorezm Region, Uzbekistan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 8794. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148794>
- Laxmi; Kamal, A.; Kumar, V.; Muthukumar, M.; Bajpai, A. (2021). Morphological indicators of salinity stress and their relation with osmolyte associated redox regulation in mango cultivars. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 30(4), pp. 918–929. <https://doi.org/10.1007/s13562-021-00735-4>
- Liang, W.; Ma, X.; Wan, P.; Liu, L. (2018). Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and biophysical research communications*, 495(1), pp. 286-291. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.11.043>
- Lucena, C.; Siqueira, D.; Martinez, H.; Cecon, P. (2012). Efeito do estresse salino na absorção de nutrientes em mangueira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 34(1), pp. 297–308. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452012000100039>

- Matheyambath, A.; Subramanian, J.; Paliyath, G. (2016). Mangoes, Caballero, B.; Finglas, P.; Toldrá, F. Encyclopedia of Food and Health, Amsterdam: Elsevier. pp. 641–645. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00442-6>
- MinAgricultura. (2021a). Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo: Mango. Agronet.
- MinAgricultura. (2021b). Cadena de mango: Indicadores e instrumentos - Segundo trimestre 2021. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Munns, R.; Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59(1), pp. 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Negrão, S.; Schmöckel, S.; Tester, M. (2017). Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. Annals of Botany, 119(1), pp. 1–11. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw191>
- Okino-Delgado, C.; Prado, D.; Pereira, M.; Camargo, D.; Koike, M.; Fleuri, L. (2020). Mango, Galanakis, Ch. Valorization of Fruit Processing By-products, London: Elsevier, pp. 167–181. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817106-6.00008-3>
- Omuto, C.; Vargas, R.; El Mobarak, A.; Mohamed, N.; Viatkin, K.; Yigini, Y. (2020). Mapping of salt-affected soils – Technical manual, Rome: FAO, pp. 1-112 <https://doi.org/10.4060/ca9215en>.
- Orosco-Alcalá, B. E.; Núñez-Paleniús, H. G.; Pérez-Moreno, L.; Valencia-Posadas, M.; Trejo-Téllez, L. I.; Díaz-Serrano, F. R.; Abraham-Juárez, M. R. (2018). Tolerance to salinity in cultivated plants: an agronomic vision. Agroproductividad, 11(7), pp. 51-57 <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/download/915/776>
- Porta, J.; López-Acebedo, M. (1986). La salinidad como condicionante del comportamiento de los cultivos, Herrero, J., Salinidad en los suelos: aspectos de su incidencia en regadíos de Huesca, Zaragoza: Diputación General de Aragón, pp. 51-73. <https://digital.csic.es/handle/10261/306111>
- Quintana-Blanco, W. A.; Pinzón-Sandoval, E. H.; Torres, D. F. (2016). Evaluación del crecimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv Ica Cerinza, bajo estrés salino. Revista UDCA Actualidad Divulgación Científica, 19(1), pp. 87-95. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262016000100010script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262016000100010script=sci_arttext)
- Rengasamy, P. (2010). Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. Functional Plant Biology, 37(7), pp. 613-620. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=75232ee6bfd42a5f07240037e03e0083e01186bf>
- Sandoval Rivera, M. (2023). Análisis de patrones espacio-temporales de precipitación y temperatura del aire al norte de Colombia. Tesis (pregrado Biología Marina), Colombia, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, pp 1-55. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/33842>.

- Stavi, I.; Thevs, N.; Priori, S. (2021). Soil salinity and sodicity in drylands: A review of causes, effects, monitoring, and restoration measures. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 712831. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712831>
- Ullah, A.; Bano, A.; Khan, N. (2021). Climate Change and Salinity Effects on Crops and Chemical Communication Between Plants and Plant Growth-Promoting Microorganisms Under Stress. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 618092. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.618092>
- World Bank (2012). Turndownthe heat: why a 4°C warmer world must be avoided. Washington D. C., Woprld bank [http://documents.worldbank.org/curated/en/2012/11/1709815/turdown-heat-4°C%<sup>a</sup>B0c-warmer-world-must-avoided](http://documents.worldbank.org/curated/en/2012/11/1709815/turdown-heat-4%C2%B0c-warmer-world-must-avoided).