

# Respuesta morfológica en diferentes especies de cítricos usadas como portainjertos, sometidas a estrés salino e hídrico bajo condiciones de invernadero

## *Morphological response in different citrus species used as rootstocks, subjected to saline and water stress under greenhouse conditions*

Wagner Landin-García<sup>1,\*</sup> and Fernando Granja<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

\* Autor para correspondencia: wagner.landin@unl.edu.ec

Fecha de recepción del manuscrito: 07/12/2020

Fecha de aceptación del manuscrito: 21/12/2020

Fecha de publicación: 31/12/2020

**Resumen**—Debido a las condiciones de cambio climático actual y a la elevada susceptibilidad a estrés abiótico, los cítricos requieren de un correcto uso de portainjertos que permitan una óptima producción con tolerancia a las condiciones ambientales cambiantes. Por tal razón se estudió el comportamiento de tres portainjertos de cítricos, sometidos a estrés salino e hídrico por déficit y exceso, bajo condiciones de invernadero. Se establecieron 12 tratamientos, resultantes de tres tipos de estrés (salinidad, déficit hídrico y exceso hídrico) más un testigo (condiciones óptimas) y tres portainjertos (mandarino cleopatra, limón mandarino y naranjo agrio). Para salinidad se mantuvo el sustrato a 6 dS/m (conductividad eléctrica) y capacidad de campo, en déficit hídrico se aplicó el 40% de la capacidad de campo, en exceso se empleó el 150% de la capacidad de campo, y en condiciones óptimas se trabajó a <1dS/m y capacidad de campo. Se midieron variables vegetativas y de crecimiento (altura, diámetro de tallo, número de hojas, densidad estomática, entre otras). Limón mandarino obtuvo un valor significativamente superior en la mayoría de las variables (altura, número de hojas, diámetro de tallo, entre otras), mientras que mandarino cleopatra fue el que menor desarrollo exhibió.

**Palabras clave**—Sequía; Cambio climático; Estrés abiótico; Conductividad; Salinidad; Limón mandarino; Naranjo agrio; Mandarino cleopatra; Anegamiento.

**Abstract**—Due to the current climate change conditions and the high susceptibility to abiotic stress, citrus fruits require the correct use of rootstocks that allows optimal production with tolerances to changing environmental conditions. For this reason, the behavior of three citrus rootstocks, undergone to saline and water stress due to deficit and excess, under greenhouse conditions was studied. Twelve treatments were established, resulting from three types of stress (salinity, water deficit and water excess) plus a control (optimal conditions) and three rootstocks (cleopatra mandarin, mandarin lemon and sour orange tree). For salinity, the substrate was maintained at 6 dS/m (electrical conductivity) and field capacity, in water deficit 40% of the field capacity was applied, in excess 150% of the field capacity was used, and under optimal conditions work was done at <1dS / m and field capacity. Vegetative and growth variables were measured (height, stem diameter, number of leaves, stomatal density, among others). Mandarin lemon obtained a significantly higher value in most variables (height, number of leaves, stem diameter, among others), whilst cleopatra mandarin was the one that exhibited the least development.

**Keywords**—Drought; Climate change; Abiotic stress; Conductivity; Salinity; Mandarin lemon; Sour orange; Cleopatra mandarin; Water-logging.

## INTRODUCCIÓN

La citricultura es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial: de 194 países en 100 se realiza esta actividad, con niveles de producción y venta que sobrepasan a todas las demás frutas comerciales (Comité de gestión de cítricos, 2016; FAO, 2017).

La gran antigüedad de algunas plantaciones (Yances,

2018), las condiciones de estrés salino e hídrico a las que en muchos casos están sometidas (Rodríguez, 2012) o el origen de la mayoría de las plantaciones de pequeños y medianos productores son algunos de los grandes problemas que enfrenta la citricultura en el país.

Precisamente el empleo de portainjertos se considera una buena alternativa para el correcto manejo del estrés hídrico y

salino (Rodríguez, 2012), para así obtener rendimientos considerables que resulten rentables para el citricultor. A nivel internacional existen portainjertos desarrollados que brindan resistencia o tolerancia a múltiples situaciones (Rodríguez, 2012), pero su uso está restringido a citricultores con acceso a ellos por sus altos costos de importación y aplicación en campo, limitando oportunidades a medianos y pequeños productores.

*Citrus reshni* o mandarina cleopatra, *Citrus x aurantium* o naranjo agrio y *Citrus x limonia* o limón mandarina son especies con alta presencia y fáciles de conseguir que pueden usarse como pie de injerto en Ecuador; mediante observaciones directas se ha comprobado que se adaptan a diferentes ambientes de estrés abiótico, pero no hay estudios científicos que lo respalden.

La presente investigación pretende sentar bases para que los productores se motiven a sembrar cítricos con conocimiento del material que utilizan, por tal razón el objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento morfológico de diferentes especies de cítricos naturalizados, frente a situaciones de estrés abiótico bajo condiciones de invernadero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en un invernadero de la Quinta Experimental Docente “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en la ciudad de Loja (región sur del Ecuador), sobre patrones de limón mandarina, mandarina cleopatra y naranjo agrio.

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo bifactorial, en donde se definieron tres tipos de estrés más un blanco (salinidad, déficit hídrico, exceso hídrico y condiciones óptimas) y tres tipos de portainjertos (mandarina cleopatra, limón mandarina y naranjo agrio), teniendo un total de 12 tratamientos; de cada tratamiento se hicieron cinco repeticiones (se estableció una planta para cada repetición, por lo que se tuvieron cinco plantas para cada tratamiento), por lo que en total se tuvieron 60 unidades experimentales, es decir, 60 plantas.

Se realizó la investigación desde el 17 de agosto hasta el 15 de noviembre de 2020, tiempo en el que los portainjertos estuvieron sometidos a los diferentes tipos de estrés; se tomaron datos directos de las variables altura, diámetro de tallo y número de hojas, cada 10 días durante tres meses a todas las unidades experimentales, mientras que el resto de variables incremento de altura, tasa de crecimiento absoluto (TCA) de altura, tasa de crecimiento relativo (TCR) de altura, número de hojas, TCA número de hojas, TCR número de hojas, número de ramificaciones, área foliar,  $\Delta$  diámetro de tallo, TCA diámetro de tallo, TCR diámetro de tallo, densidad estomática, volumen de copa, peso seco aéreo, peso seco radicular y peso seco total) fueron calculadas o generadas al final del ensayo.

Para obtener la variable volumen de copa, se aplicó la fórmula de Turrel (Chabbal *et al.*, 2015) que establece que Volumen de copa =  $0,5236 * H * D^2$  en donde 0,5236 es una

constante, H es la altura final de la planta y D es el diámetro de copa en centímetros (el cual fue medido previamente para poder aplicar la fórmula mencionada). Referente al procedimiento de pesos secos, se usó la estufa de secado a 75 °C por un lapso de 72 horas que fue cuando se llegó a peso seco constante. Para dicho cometido se tomaron tres plantas por tratamiento y se separó la parte aérea de la raíz, se pesaron inicialmente las bolsas y el peso fresco de las plantas, se ingresaron y cada 24 horas se repesaba para poder saber cuando ya no hubo variación y retirarlas de la estufa. Finalmente se restó el peso de la bolsa de papel al peso final y se obtuvo el peso del material vegetal sin ruido.

Los individuos de experimentación tenían 8 meses al momento del comienzo del ensayo; las semillas fueron obtenidas de parentales plenamente identificados en la región sur de Ecuador: mandarina cleopatra y naranjo agrio fueron recolectadas de la parte baja del Parque Nacional Podocarpus de la jurisdicción de Loja, de la zona conocida como Caxarumi (vía a Malacatos) y las semillas de limón mandarina fueron obtenidas en la ciudad de Zamora en el barrio Dos de noviembre, calles Avenida Policía Nacional y Unidad Provincial. Las plantas sometidas a estrés salino se colocaron en sustrato estándar 3:2 (tierra de montaña: arena de río) al cual se le midió mediante el conductímetro la conductividad eléctrica (CE) inicial (1 dS/m) y el pH (neutro). Otras propiedades físico-químicas del sustrato no pudieron ser evaluadas con detalle en la presente investigación.

El sustrato fue llevado a una CE de 6 dS/m para lo cual se realizó la adición de NaCl al agua de riego (1 g de NaCl disuelto en 1000 ml de agua, eleva la CE a 4,6 dS/m). Se midió dicho parámetro con la ayuda de un conductímetro y se mantuvo el riego a capacidad de campo basándolo en medidas establecidas mediante el método gravimétrico y uso del tensiómetro (Aguirre, 2009).

Para el estrés hídrico por déficit se trabajó al 40% de la capacidad de campo, y para el estrés por exceso de agua se trabajó con el 150% de la capacidad de campo, basados en medidas establecidas mediante el método gravimétrico y uso del tensiómetro; en ambos tratamientos de estrés hídrico se mantuvo la CE <1 dS/m. Para las condiciones óptimas se mantuvo el sustrato a capacidad de campo y la CE <1 dS/m (Sandor, 2008; Montoliu, 2010; Tomassino, 2018).

Las condiciones microambientales del invernadero fueron las siguientes: humedad máxima de 62,3%, humedad mínima de 38,5%, temperatura máxima de 26,7 °C y temperatura mínima de 20,7 °C. Para realizar el análisis estadístico se realizaron pruebas de análisis de varianzas (ANAVA) para cada tipo de estrés, cada tipo de portainjerto y la interacción de ambos, con la previa verificación de supuestos; en los casos en los que no se cumplieron los supuestos, se realizó transformación de datos (logaritmo natural y logaritmo 10) en las variables número de hojas y diámetro de tallo respectivamente, y pruebas no paramétricas de Friedman (peso seco aéreo y peso seco radicular) y Kruskal Wallis (peso seco total).

Para las variables en donde se encontraron diferencias es-

tadísticamente significativas, se realizaron pruebas de comparación (entre tratamientos) múltiple de Tukey y DGC al 95 % de confianza. Pruebas adicionales de Pearson también fueron utilizadas para medir el nivel de correlación entre las variables. Todos los análisis se realizaron mediante el programa Infostat.

## RESULTADOS

En las derivadas de la variable altura ( $\Delta$  de altura, TCA de altura, TCR de altura) no se encontró interacción entre factores, pero al analizar la influencia de manera independiente sobre dichas variables, se encontraron resultados significativos. Referente al  $\Delta$  de altura, la Tabla 1 exhibe que déficit hídrico tuvo la media significativamente inferior (5,27 cm) a los demás tipos de estrés; de los tipos de portainjerto, fue limón mandarina el que tuvo la media superior (10,93 cm) y fue significativamente mayor a naranjo agrio, que tuvo la inferior (7,65 cm).

En la TCA de altura, déficit hídrico presentó la media significativamente inferior (0,06 cm día<sup>-1</sup>), mientras que en portainjertos limón mandarina tuvo una media significativamente mayor (0,12 cm día<sup>-1</sup>) a la de naranjo agrio (0,09 cm día<sup>-1</sup>) (Tabla 1). La TCR respondió solamente al tipo de estrés, siendo déficit hídrico el tratamiento que mostró la media significativamente menor (0,0016 cm cm día<sup>-1</sup>) a los demás tipos de estrés (Tabla 1).

En las derivadas de la variable número de hojas ( $\Delta$  de hojas, TCA de número de hojas y TCR de número de hojas), no se encontró interacción entre los factores, pero al analizar la influencia de manera independiente, se encontraron resultados significativos.

El de hojas respondió al tipo de estrés y tipo de portainjerto; condiciones óptimas tuvo la media superior (56,33 hojas) en relación a los tipos de estrés; concerniente a los portainjertos, limón mandarina y naranjo agrio exhibieron las medias significativamente superiores (57,05 y 45,40 hojas en promedio, respectivamente) a mandarina cleopatra (Tabla 2).

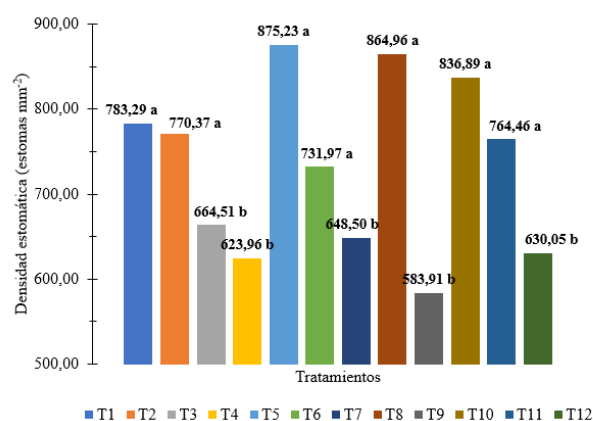
Referente a TCA de número de hojas, en la Tabla 2 se aprecia que déficit hídrico presentó la media inferior (0,35 hojas día<sup>-1</sup>) y manifiesta diferencia estadísticamente significativa a condiciones óptimas, que presenta la más alta (0,63 hojas día<sup>-1</sup>). El tipo de portainjerto que tuvo la media significativamente mayor fue limón mandarina con 0,28 hojas por día, mostrando diferencia estadísticamente significativa con limón mandarina que tuvo la media superior (0,63 hojas día<sup>-1</sup>). La TCR de número de hojas respondió solamente al tipo de estrés, siendo déficit hídrico el tratamiento que mostró la media significativamente menor (0,028 hojas hojas día<sup>-1</sup>) a los demás tipos de estrés (Tabla 2).

Para las derivadas de la variable diámetro de tallo (incremento diámetro de tallo, TCA diámetro de tallo y TCR diámetro de tallo) no se encontraron interacciones entre los factores tipo de estrés y tipo de portainjerto, ni de manera

independiente (Tabla 3).

Hubo interacción de la densidad estomática final con los tratamientos, es así que salino + naranjo agrio, exceso hídrico + mandarina cleopatra, condiciones óptimas + naranjo agrio, déficit hídrico + mandarina cleopatra y exceso hídrico + naranjo agrio (664,51, 648,50, 630,05, 623,96 y 583,90 estomas mm<sup>-2</sup>, respectivamente) fueron significativamente menores al resto de tratamientos con un error estándar para todas las medias de  $\pm 60,45$  (Figura 1).

- T1= Salino + Mandarino cleopatra
- T2= Salino + Limón mandarina
- T3= Salino + Naranjo agrio
- T4= Déficit hídrico + Mandarino cleopatra
- T5= Déficit hídrico + Limón mandarina
- T6= Déficit hídrico + Naranjo agrio
- T7= Exceso hídrico + Mandarino cleopatra
- T8= Exceso hídrico + Limón mandarina
- T9= Exceso hídrico + Naranjo agrio
- T10= Condiciones óptimas + Mandarino cleopatra
- T11= Condiciones óptimas + Limón mandarina
- T12= Condiciones óptimas + Naranjo agrio



**Fig. 1:** Densidad estomática en función del tipo de tratamiento. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, DGC (Alfa<0,05). El error estándar de todas las medias de esta variables es  $\pm 60,45$ .

Existió relación de la interacción de los factores (tratamientos) y la variable volumen de copa, es así que condiciones óptimas + limón mandarina y salino + limón mandarina tuvieron las medias significativamente mayores (65526,25 y 53001,50 cm<sup>3</sup>, respectivamente) que el resto de tratamientos con un error estándar para todas las medias de  $\pm 4996,70$  (Figura 2).

Existió relación de la interacción de los factores y la variable peso seco aéreo, los tratamientos de exceso hídrico + limón mandarina y condiciones óptimas + limón mandarina presentaron los valores significativamente mayores (17,85 y 19,85 g, respectivamente), mostrando diferencias estadísticamente significativas con déficit hídrico + limón mandarina que presentó la media inferior (9,55 g) (Tabla 4).

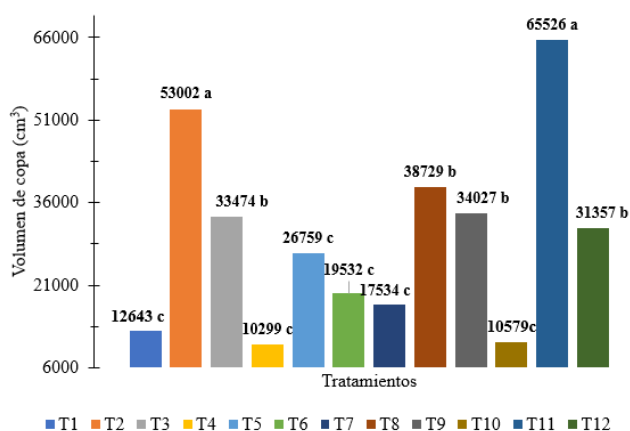
Existió interacción de factores con la variable peso

**Tabla 1:** Incremento de altura, TCA de altura, TCR de altura en función del tipo de estrés y tipo de portainjerto. \*Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ); \*\*letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas, DGC ( $\text{Alfa} < 0,05$ ); ns: no significativo; números precedidos del símbolo  $\pm$  indican el error estándar.

Tipo de estrés	Altura inicial (cm)	$\Delta$ altura (cm)*	TCA altura (cm día <sup>-1</sup> )*	TCR altura (cm día <sup>-1</sup> )**
Condiciones óptimas	44,17	09,97 ( $\pm 1,11$ ) a	0,11 ( $\pm 0,01$ ) a	0,0026 ( $\pm 0,0004$ ) a
Exceso hídrico	40,73	10,03 ( $\pm 1,11$ ) a	0,11 ( $\pm 0,01$ ) a	0,0031 ( $\pm 0,0004$ ) a
Salino	39,57	09,87 ( $\pm 1,11$ ) a	0,11 ( $\pm 0,01$ ) a	0,0033 ( $\pm 0,0004$ ) a
Déficit hídrico	38,63	05,27 ( $\pm 1,11$ ) b	0,06 ( $\pm 0,01$ ) b	0,0016 ( $\pm 0,0004$ ) b
<b>Tipo de portainjerto</b>				
Limón mandarina	47,83	10,93 ( $\pm 0,96$ ) a	0,12 ( $\pm 0,01$ ) a	0,0027 ( $\pm 0,0003$ ) ns
Naranja agrio	43,50	07,65 ( $\pm 0,96$ ) b	0,09 ( $\pm 0,01$ ) b	0,0020 ( $\pm 0,0004$ ) ns
Mandarino cleopatra	31,00	07,78 ( $\pm 0,96$ ) ab	0,09 ( $\pm 0,01$ ) ab	0,0033 ( $\pm 0,0004$ ) ns

**Tabla 2:** Incremento del número de hojas, TCA número de hojas, TCR número de hojas, en función del tipo de estrés y tipo de portainjerto. \*Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ); ns: no significativo; números precedidos del símbolo  $\pm$  indican el error estándar.

Tipo de estrés	Número de hojas inicial	$\Delta$ número de hojas*	TCA número de hojas (hojas día <sup>-1</sup> )*	TCR número de hojas (hojas hojas día <sup>-1</sup> )*
Condiciones óptimas	14,13	56,33 ( $\pm 5,62$ ) a	0,63 (0,06) a	0,044 ( $\pm 0,01$ ) a
Exceso hídrico	16,33	35,60 ( $\pm 5,62$ ) ab	0,40 ( $\pm 0,06$ ) ab	0,030 ( $\pm 0,01$ ) ab
Salino	19,07	47,33 ( $\pm 5,62$ ) ab	0,53 ( $\pm 0,06$ ) ab	0,030 ( $\pm 0,01$ ) ab
Déficit hídrico	16,47	31,07 ( $\pm 5,62$ ) b	0,35 ( $\pm 0,06$ ) b	0,028 ( $\pm 0,01$ ) b
<b>Tipo de portainjerto</b>				
Limón mandarina	20,40	57,05 ( $\pm 4,87$ ) a	0,63 ( $\pm 0,05$ ) a	0,03 ( $\pm 0,005$ ) ns
Naranja agrio	20,55	45,40 ( $\pm 4,87$ ) ab	0,50 ( $\pm 0,05$ ) ab	0,03 ( $\pm 0,005$ ) ns
Mandarino cleopatra	8,55	25,30 ( $\pm 4,87$ ) b	0,28 ( $\pm 0,05$ ) b	0,04 ( $\pm 0,005$ ) ns



**Fig. 2:** Volumen de copa en función del tratamiento. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas, DGC ( $\text{Alfa} < 0,05$ ). El error estándar de todas las medias de esta variable es  $\pm 4996,70$ .

seco radicular: el tratamiento de exceso hídrico + limón mandarina presentó la media superior (15,80 g) y fue significativamente mayor a los tratamientos de salino + mandarina cleopatra, salino + limón mandarina, déficit hídrico + limón mandarina, condiciones óptimas + mandarina cleopatra y déficit hídrico + mandarina cleopatra cuyas medias fueron las inferiores (6,85, 7,30, 5,60, 4,25 y 4,05 g, respectivamente) (Tabla 5).

Existió relación entre la interacción de factores con la variable peso seco total, se observó que el tratamiento de condiciones óptimas + naranja agrio presentó la media significativamente superior (42,40 g) y mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos déficit

hídrico + limón mandarina, déficit hídrico + mandarina cleopatra, salino + naranja agrio, salino + limón mandarina cuyas medias fueron las significativamente inferiores (15,15, 11,85, 23,80, 22,95 y 18,10 g, respectivamente) (Tabla 6).

La Tabla 7 muestra las correlaciones positivas y negativas de las variables evaluadas: altura-diámetro de tallo, altura-volumen de copa, peso seco aéreo-peso seco radicular, peso seco aéreo-peso seco total y peso seco radicular-peso seco total.

## DISCUSIÓN

La situación de condiciones óptimas presentó los valores significativamente superiores en las variables TCA de altura, número de hojas, TCA número de hojas y TCR número de hojas. Según Ferreyra y Selles (2011), los niveles adecuados de humedad en el suelo satisfacen las necesidades de transpiración de la planta, no provocan déficit o exceso hídrico y no afectan su crecimiento y desarrollo. Sin embargo, las plantas bajo estrés hídrico por exceso exhibieron uno de los valores significativamente mayores en las variables incremento de altura y TCA de altura.

Esto puede deberse a que particularmente los cítricos responden al exceso de agua disminuyendo la conductancia estomática y el intercambio gaseoso, con respuestas a la disminución del contenido de nitrógeno de las raíces y las hojas (Martínez-Alcántara *et al.*, 2015), generándose así una alteración de nitrógeno-carbono y la partición de los mismo dentro de la planta, ya que la partición desigual de elementos dentro de la planta no permite generar nuevos

**Tabla 3:** Diámetro de tallo, incremento de diámetro de tallo, TCA de diámetro de tallo, TCR de diámetro de tallo, en función del tipo de estrés y tipo de portainjerto. \*Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ( $p < 0,05$ ); ns: no significativo; números precedidos del símbolo  $\pm$  indican el error estándar.

Tipo de estrés	Diámetro de tallo inicial (cm)	$\Delta$ diámetro de tallo*	TCA diámetro de tallo ( $\text{mm día}^{-1}$ )*	TCR diámetro de tallo ( $\text{mm mm día}^{-1}$ )*
Condiciones óptimas	6,60	0,97 ( $\pm 0,18$ ) ns	0,011 ( $\pm 0,002$ ) ns	0,0017 ( $\pm 0,0003$ ) ns
Exceso hídrico	6,13	1,23 ( $\pm 0,18$ ) ns	0,014 ( $\pm 0,002$ ) ns	0,0023 ( $\pm 0,0003$ ) ns
Salino	5,80	1,27 ( $\pm 0,18$ ) ns	0,014 ( $\pm 0,002$ ) ns	0,0026 ( $\pm 0,0003$ ) ns
Déficit hídrico	6,60	0,73 ( $\pm 0,18$ ) ns	0,008 ( $\pm 0,002$ ) ns	0,0014 ( $\pm 0,0003$ ) ns
<b>Tipo de portainjerto</b>				
Limón mandarina	7,20	1,23 ( $\pm 0,16$ ) ns	0,014 ( $\pm 0,001$ ) ns	0,0020 ( $\pm 0,0003$ ) ns
Naranja agrio	6,80	0,98 ( $\pm 0,16$ ) ns	0,011 ( $\pm 0,001$ ) ns	0,0017 ( $\pm 0,0003$ ) ns
Mandarina cleopatra	4,85	0,95 ( $\pm 0,16$ ) ns	0,011 ( $\pm 0,001$ ) ns	0,0023 ( $\pm 0,0003$ ) ns

**Tabla 4:** Resultados de la prueba no paramétrica de Friedman de la variable peso seco aéreo en función de los tratamientos. \*Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ).

Tipo de estrés	Tipo de portainjerto	Peso seco aéreo (g)
Exceso hídrico	Limón mandarina	17,85 a
Condiciones óptimas	Limón mandarina	19,85 a
Salino	Mandarina cleopatra	11,25 ab
Condiciones óptimas	Naranja agrio	27,50 ab
Déficit hídrico	Mandarina cleopatra	07,80 ab
Déficit hídrico	Naranja agrio	10,60 ab
Exceso hídrico	Naranja agrio	16,00 ab
Salino	Naranja agrio	15,60 ab
Salino	Limón mandarina	15,65 ab
Exceso hídrico	Mandarina cleopatra	10,35 ab
Condiciones óptimas	Mandarina cleopatra	07,95 ab
Déficit hídrico	Limón mandarina	09,55 b

brotos que den lugar a ramificaciones. De igual manera sucede con el contenido de nitrógeno-carbono que afecta a la generación de las hojas y el aumento de diámetro en el tallo (Rodríguez-Gamir *et al.*, 2011), las variables cuyos datos fueron significativamente mayores en este tipo de estrés, lo cual muestra que a pesar de que las condiciones de exceso de agua limitan algunas funciones en plantas, no las detiene o retrasa en su totalidad, sino que la planta realiza cambios bioquímicos y anatómicos para afrontar la condición adversa que atraviesa.

Las plantas sometidas a déficit hídrico presentaron los valores inferiores en las variables  $\Delta$  de altura, TCA de altura, TCR de altura, número de hojas, TCA de número de hojas, TCR de número de hojas. Esto se da porque las funciones vitales de la planta, tales como desarrollo vegetal, reproducción, etc, están influenciadas principalmente por la disponibilidad de agua. En investigaciones realizadas sobre lima “Rangpur” y citrumelo “Swingle” se encontró que el riego deficiente redujo el potencial hídrico foliar y causó limitación en la difusión de la fotosíntesis de ambos patrones (Ortuño *et al.*, 2004; ?; Rodríguez, 2012; Pedroso *et al.*, 2014). Esto se ajusta a los resultados encontrados en la presente investigación, ya que, al limitar las funciones de la planta, producto de la falta de agua, esta limita o reduce su correcto desarrollo y crecimiento, exhibiendo en campo deficiencias morfológicas.

Los individuos sometidos a salinidad tuvieron los valores menores (significativamente o no) en las variables evaluadas.

La salinidad causa daños severos como quemaduras en los tejidos, abscisión foliar, intoxicación por iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{N}^+$  y la muerte del individuo (Masood *et al.*, 2012). Particularmente en cítricos se ha reportado que la presencia de  $\text{NaCl}$  en la zona radicular deshidrata las membranas celulares, reduce el suministro del  $\text{CO}_2$  debido al cierre estomático y causa toxicidad por los iones salinos  $\text{Cl}^-$  y  $\text{N}^+$ , además de la deficiencia de  $\text{K}^+$  (interviene en la producción de ATP) que causa aumento de respiración, lo que contribuye a disminuir el crecimiento y desarrollo y cambia la composición iónica del citoplasma y cloroplastos (Romero-Aranda *et al.*, 1998; Foyer, 2005; Masood *et al.*, 2012). En el presente estudio se pudo apreciar poco crecimiento y desarrollo general, causado por lo mencionado con anterioridad. Se recomienda para futuras investigaciones realizar el análisis físico-químico del sustrato a utilizar en los diferentes ensayos, para partir con seguridad y elevar los niveles de salinidad considerando todas las propiedades del sustrato como el contenido de elementos nutricionales.

El portainjerto limón mandarina presentó los valores significativamente mayores en las variables  $\Delta$  de altura, TCA de altura,  $\Delta$  número de hojas, TCA número de hojas e  $\Delta$  diámetro de tallo. En investigaciones realizadas por Fochesato *et al.* (2007) sobre crecimiento vegetativo de limón mandarina, comparado con *Poncirus trifoliata* y *Citrus sinensis* en condiciones de invernadero sobre distintos tipos de sustrato, limón mandarina tuvo los valores superiores en las variables de área foliar y número de hojas, esto se debe según los autores a las características genotípicas del

**Tabla 5:** Resultados de la prueba no paramétrica de Friedman, de la variable peso seco radicular en función de los tratamientos. \*Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas (p valor<0,05).

Tipo de estrés	Tipo de portainjerto	Peso seco radicular (g)
Exceso hídrico	Limón mandarina	15,80 a
Condiciones óptimas	Naranja agrio	14,90 ab
Condiciones óptimas	Limón mandarina	12,00 abc
Salino	Naranja agrio	08,20 abcdef
Déficit hídrico	Naranja agrio	07,10 abcdef
Exceso hídrico	Mandarina cleopatra	06,30 abcdef
Exceso hídrico	Naranja agrio	07,15 abcdef
Salino	Mandarina cleopatra	06,85 bcdef
Salino	Limón mandarina	07,30 cdef
Déficit hídrico	Limón mandarina	05,60 def
Condiciones óptimas	Mandarina cleopatra	04,25 ef
Déficit hídrico	Mandarina cleopatra	04,05 f

**Tabla 6:** Resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis de la variable peso total en función de los tratamientos. \*Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas (p valor<0,05).

Tipo de estrés	Tipo de portainjerto	Peso seco total (g)
Condiciones óptimas	Naranja agrio	42,40 a
Condiciones óptimas	Limón mandarina	32,85 ab
Condiciones óptimas	Mandarina cleopatra	12,20 abc
Exceso hídrico	Naranja agrio	23,15 abcdef
Exceso hídrico	Limón mandarina	33,65 abcdef
Exceso hídrico	Mandarina cleopatra	16,65 abcdef
Déficit hídrico	Naranja agrio	17,60 abcdef
Déficit hídrico	Limón mandarina	15,15 bcdef
Déficit hídrico	Mandarina cleopatra	11,85 cdef
Salino	Naranja agrio	23,80 def
Salino	Limón mandarina	22,95 ef
Salino	Mandarina cleopatra	18,10 f

portainjerto en cuestión.

El portainjerto naranja agrio mostró valores intermedios, ubicándose entre limón mandarina y mandarina cleopatra. Medina-Urrutia *et al.* (2008) usó el naranja agrio como portainjerto para *Citrus aurantifolia* (limón mexicano) y documentó que no es una especie vigorosa.

El portainjerto mandarina cleopatra presentó las medias más bajas en las variables TCA de altura, incremento de número de hojas, TCA número de hojas e incremento del diámetro de tallo. Según algunos autores cada especie tiene su ritmo de crecimiento, y el grupo de las mandarinas en sus estadíos tempranos crecen de manera lenta y sus hojas son pequeñas comparadas con otras especies (Yahmed *et al.*, 2015). Similares resultados se pudieron observar en el presente estudio, por lo que esta especie no sería recomendable como portainjerto.

La variable densidad estomática fue influenciada por la interacción de factores, siendo los tratamientos T5 (déficit hídrico + limón mandarina) y T8 (exceso hídrico + limón mandarina) los que obtuvieron las medias superiores. A tal respecto, Cañizares *et al.* (2003) mencionan que, en cítricos, el genotipo, la posición de la hoja en la rama y la latitud donde se desarrollan las plantas afectan el tamaño del estoma y la densidad estomática. Por ejemplo, en estudios realizados sobre hojas de limón "Eureka", el

número de estomas decreció conforme aumentó la latitud (Reed y Hirano, 1931). Esto se alinea a lo encontrado en la presente investigación, donde los portainjertos se encontraron a una latitud baja (Sur 03°19', Loja, Ecuador) y el rango de número de estomas fue de 583 a 875 estomas mm<sup>-2</sup>.

El volumen de copa fue influenciado por la interacción de factores. Según Cenicafé (2007), estas variables están en función del tipo de portainjerto y de la altura de la planta, y la correlación entre área foliar y altura determinan los valores de diámetro y volumen de copa. En este estudio se correlacionó la altura y el volumen de copa y el resultado fue una correlación positiva, esto se alinea a lo expresado por los autores del estudio mencionado.

Peso seco aéreo, peso seco radicular y peso total también mostraron interacción de factores. Según Bancon (2004), las unidades de materia seca producida están en función de las unidades de agua consumida, los factores climáticos, el material vegetal (genotipo) y la fenología. Por otra parte, Pérez-Pérez *et al.* (2010) encontraron que el cultivar "Lane late" de naranja injertado sobre el portainjerto "Carrizo", mostró una producción alta de materia seca, dada por la eficiencia del uso del agua.

En las pruebas de correlación se puede observar que las variables que se correlacionan significativamente se corresponden fuertemente entre sí, resaltando que el peso seco

**Tabla 7:** Resultados del análisis de correlación de Pearson entre las variables evaluadas, se muestra n Pearson y p valor. Los valores con asterisco (\*) indican correlaciones positivas fuertes (n Pearson >0,70) y significativas (p <0,05). La parte superior a la diagonal indica el p valor y la parte inferior a la diagonal indica el n Pearson.

	Altura (cm)	Número de hojas	Densidad estomática (estomas mm <sup>-1</sup> )	Diámetro de tallo (mm)	Volumen de copa (cm <sup>3</sup> )	Peso seco aéreo (g)	Peso seco radicular (g)	Peso seco total (g)
Altura (cm)	<b>1,00</b>	0,01	0,75	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Número de hojas	0,50	<b>1,00</b>	0,08	0,07	0,03	<0,01	0,02	<0,01
Densidad estomática (estomas mm <sup>-1</sup> )	0,07	-0,37	<b>1,00</b>	0,43	0,95	0,37	0,81	0,52
Diámetro de tallo (mm)	0,71*	0,38	0,17	<b>1,00</b>	0,01	0,02	<0,01	<0,01
Volumen de copa (cm <sup>3</sup> )	0,82*	0,44	-0,01	0,50	<b>1,00</b>	<0,01	<0,01	<0,01
Peso seco aéreo (g)	0,65	0,58	-0,19	0,49	0,63	<b>1,00</b>	<0,01	<0,01
Peso seco radicular (g)	0,63	0,49	-0,05	0,62	0,65	0,85*	<b>1,00</b>	0,00
Peso seco total (g)	0,67	0,56	-0,14	0,56	0,66	0,97*	0,95*	<b>1,00</b>

total se deriva de peso seco aéreo y peso seco radicular, por lo cual tienen un n Pearson de 0,97 y 0,95 respectivamente. En cambio, existen correlaciones que no se corresponden, dando valores negativos de Pearson al ser analizadas, tal es el caso de densidad estomática con las otras variables, demostrando la nula relación de esta variable con el resto.

Al comparar los resultados obtenidos en otras investigaciones de carácter internacional, se concluye que los obtenidos en esta investigación no se alinean al 100% a los informados con anterioridad. Consideramos que ello puede ser producto de que los ensayos anteriores son realizados sobre especies cítricas de mayor edad, con más tiempo de aplicación de tratamientos, condiciones climáticas de campo abierto y mayor rango de recopilación de datos (incluso años) para el análisis, por lo cual se recomienda seguir esta investigación con base en los resultados obtenidos e implementar ensayos en campo abierto para contrastar de mejor manera con los resultados a nivel internacional.

Se concluye que el portainjerto limón mandarina demostró mayor tolerancia a las condiciones de estrés a las que fue sometido según sus características morfológicas, bajo invernadero y en etapa temprana de desarrollo.

La importancia de este tipo de investigaciones radica en los constantes cambios climáticos a los que están expuestos los diversos cultivos, esto permitirá estar preparados para futuras situaciones adversas en el campo agronómico.

## REFERENCIAS

- Aguirre, A. (2009). El manejo de la conductividad eléctrica en fertirriego. grado de especialización en química aplicada. *Centro de Investigación en Química Aplicada*.
- Bancon, M. (2004). *Water use efficiency in plant biology* (First ed.; B. P. Ltd, Ed.).
- Cañizares, A., Sanabria, M. E., Rodríguez, D., y Perozo, Y. (2003). Características de los estomas, índice y densidad estomática de las hojas de lima tahití (*Citrus latifolia* tanaka) injertada sobre ocho patrones cítricos. *Revista UDO Agrícola*, 3(1), 59–64.
- Chabbal, M., Giménez, L., Garavello, M., Alayón, P., Rodríguez, V., y Mazza, S. (2015). Caracterización de naranjo valencia late sobre diferentes portainjertos en “entre ríos” argentina. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 94–99.
- Fochesato, M., de Souza P, D., Shafer, G., y Schmatz, H. (2007). Crecimiento vegetativo de portainjertos de cítricos que se producen en distintos sustratos comerciales. *Ciencia rural*, 37(4), 970–975.
- Foyer, G., CH. anfd Noctor. (2005). Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant, Cell Environment*, 28(8), 71–1056.
- Martínez-Alcántara, B., Martínez-Cuenca, M. R., Quiñonez, A., Iglesias, D. J., Primo-Millo, E., y Former-Giner, M. A. (2015). Comparative expression of candidate genes involved in sodium transport and compartmentation in citrus. *Environmental and Experimental Botany*, 111, 52–62.
- Masood, S., Saleh, L., Witzel, K., Plieth, C., y Mühlhling, K. H. (2012). Determination of oxidative stress in wheat leaves as influenced by boron toxicity and nacl stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 56, 56–61.
- Medina-Urrutia, V., Robles-González, M., y Velázquez-Monreal, J. (2008). Comportamiento de dos cultivares de limón mexicano [*Citrus aurantifolia* (christm) swingle] en portainjertos desarrollados en suelos con dos profundidades. *Revista Chapingo-Serie Horticultura*, 15(1), 49–55.
- Montoliu, V. (2010). *Respuestas fisiológicas de los cítricos sometidos a condiciones de estrés biótico y abiótico-aspectos comunes y específicos. tesis doctoral de ingeniera agrónoma*. (Tesis Doctoral no publicada). Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales, Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural.
- Ortuño, M. F., Alarcón, J. J., Nicolás, E., y Torrecilla, A. (2004). Interpreting trunk diameter changes in young lemon trees under deficit irrigation. *Plant Science*, 167, 275–280.
- Pedroso, F. K. J. V., Prudente, D. A., Bueno, A. C. R., Machado, E. C., y Ribeiro, R. V. (2014). Drought tolerance in citrus trees is enhanced by rootstock-dependent chan-

- ges in root growth and carbohydrate availability. *Environmental and Experimental Botany*, 101, 26–35.
- Pérez-Pérez, J., García, J. M., Robles, P., y Botía, P. (2010). Economic analysis of navel orange cv. 'lane late' grown on two different drought-tolerant rootstocks under deficit irrigation in south-eastern Spain. *Agricultural Water Management*, 97, 157–164.
- Reed, H., y Hirano, H. (1931). The density of stomata in citrus leaves. *Journal of Agricultural Research*, 43, 209–222.
- Rodríguez, J. (2012). *Conductancia hidráulica en patrones de cítricos. tesis doctoral de ingeniero agrónomo*. (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Politécnica de Valencia.
- Rodríguez-Gamir, J., Ancillo, G., González-Mas, M. C., Primo-Millo, E., Iglesias, D. J., y Forner-Giner, M. A. (2011). Root signalling and modulation of stomatal closure in flooded citrus seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(6), 636–645.
- Romero-Aranda, R., Moya, J. L., Tadeo, F. R., Legaz, F., Primo-Millo, E., y Talon, M. (1998). Physiological and anatomical disturbances induced by chloride salts in sensitive and tolerant citrus: beneficial and detrimental effects of cations. *Plant, Cell Environment*, 21(12), 53–1243.
- Sandor, F. (2008). *Soil testing* (First ed.; A. Jalalabad, Ed.). Roots of Pace-USAID.
- Tomassino, E. (2018). *Utilización del estrés oxidativo y la defensa antioxidante para la caracterización e identificación temprana de genotipos de cenchrus ciliaris l. tolerantes al estrés abiótico* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Nacional de Córdoba.
- Yahmed, J., de Oliveira T, M., Novillo, P., Quinonez, A., Foenner, M. A., Salvador, A., ... Morillon, R. (2015). A simple, fast and inexpensive method to assess salt stress tolerance of aerial plant part: Investigations in the mandarin group. *Journal of Plant Physiology*, 190, 36–43.
- Yances, S. (2018). *Importancia de la producción de naranja en caluma y el impacto que tiene en los festivales del cantón*. (Tesis Doctoral no publicada). Universidad San Francisco de Quito.