UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

RESPUESTA MORFOLÓGICA EN DIFERENTES ESPECIES DE PORTAINJERTOS EN CÍTRICOS, SOMETIDAS A ESTRÉS SALINO E HÍDRICO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO

Autor: Wagner Xavier Landin García

Director: Ing. Johnny Fernando Granja Trávez Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2021

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

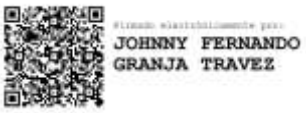
Ing. Johnny Fernando Granja Trávez Mg. Sc.
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de tesis titulado: "Respuesta morfológica en diferentes especies de portainjertos en cítricos, sometidas a estrés salino e hídrico bajo condiciones de invernadero", previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, del egresado: Wagner Xavier Landin García, se autoriza su presentación debido a que el mismo se sujeta a las normas y reglamentos generales de graduación exigido por la carrera de Ingeniería Agronómica.

En mi calidad de Director de Tesis certifico que la investigación realizada ha sido trabajo propio del egresado.

Loja, 28 de enero del 2021



Ing. Johnny Fernando Granja Trávez Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Una vez cumplida la reunión del tribunal de calificación del trabajo final de tesis titulado: "Respuesta morfológica en diferentes especies de portainjertos en cítricos, sometidas a estrés salino e hídrico bajo condiciones de invernadero" de la autoría del Sr. Wagner Xavier Landin García, egresado de la carrera de Ingeniería Agronómica.

En tal virtud, nos permitimos certificar que, en el trabajo final consolidado de investigación, se ha incorporado las sugerencias efectuadas por los miembros del tribunal y está acorde con los requerimientos de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, por lo tanto, se procede a la aprobación y calificación del trabajo de tesis, y se autoriza continuar con los trámites pertinentes.

Loja, 25 de marzo del 2021

Mg. Sc. Edmigio Valdivieso Caraguay
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Klever Chamba Caillagua
VOCAL

Mg. Sc. Alex Salazar González
VOCAL

AUTORÍA

Yo, Wagner Xavier Landin García, declaro ser el autor del presente TRABAJO DE TESIS y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes Jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:

Autor: Wagner Xavier Landin García
Cédula: 1150319554
Fecha: 25 de marzo del 2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, Wagner Xavier Landin García, declaro ser el autor de la tesis titulada "Respuesta morfológica en diferentes especies de portainjertos en cítricos, sometidas a estrés salino e hídrico bajo condiciones de invernadero" como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, por lo que autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre a mundo la publicación intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional. Los usuarios pueden hacer uso de este trabajo investigativo en las redes de información del país (RID) y del exterior, con las que mantenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio de dicha tesis que realice una tercera persona.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los 29 días del mes de marzo del dos mil veinte y uno, firma el autor:

DATOS DEL AUTOR

Firma

Autor: Wagner Xavier Landin García
Cédula: 1150319554
Dirección: Santa Clara de Asís y Santa Catalina de Ciena.
Correo electrónico: wagner.landin@unl.edu.ec
Celular: 0939564314

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. Johnny Fernando Granja Trávez Mg. Sc.

Tribunal de grado:

Mg. Sc. Edmigio Valdivieso Caraguay
PRESIDENTE

Ing. Klever Chamba Caillagua
VOCAL

Mg. Sc. Alex Salazar González
VOCAL

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Ing. Johnny Granja, por compartir sus conocimientos y ser mi guía en la culminación del presente trabajo, a la Universidad Nacional de Loja por otorgar el espacio físico e instrumentación para la realización de la investigación.

A todos aquellos distinguidos maestros, por ser coautores de mis sendas académicas.

Quiero agradecer de manera especial a la Dra. Marina Mazón y al Dr. Ferenc Sandor, gracias por todo el apoyo brindado dentro y fuera de las aulas universitarias.

A todos mis compañeros y amigos por las experiencias vividas día a día.

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios, sus enseñanzas me han mantenido de pie siempre.

A mi amada madre, ha sido, es y será el motor de mi existencia, gracias por velar mis sueños, enseñarme el valor del esfuerzo, sacrificio y entrega. Mi vida entera es suya.

A mis hermanos, gracias por el cúmulo de sorpresas y emociones que me han brindado.

A María Fernanda, por todo el cariño, paciencia y aprecio que me ofrece diariamente.

A la familia Arias-Medina, son uno de los pilares que sostiene mi vida.

INDICE GENERAL

PORTADA I
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS II
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO III
AUTORÍA IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN V
AGRADECIMIENTO VI
DEDICATORIA VII
TITULO XI
RESUMEN XII
ABSTRACT XIII
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. Objetivo general 2
1.2. Objetivos específicos 2
2. REVISIÓN DE LITERATURA 3
2.1. Importancia de los cítricos 3
2.2. Origen 3
2.3. Morfología 4
2.4. Taxonomía 4
2.5. Distribución y principales países productores de cítricos 5
2.6. Condiciones edafoclimáticas 5
2.7. Variedades de cítricos 6
2.7.1. Naranjas dulces (*Citrus sinensis*). 6
2.7.2. Mandarinos. 6
2.7.3. Toronja. 7
2.7.4. Limas o limones. 7
2.8. Portainjertos en cítricos 7

2.9. Especies de portainjertos para cítricos 8
2.10. Estrés salino en cítricos 9
2.11. Estrés hídrico por saturación en cítricos 11
2.12. Estrés hídrico por déficit 11
2.13. Investigaciones realizadas 13
3. MATERIALES Y MÉTODOS 14
3.1. Ubicación del estudio 14
3.2. Diseño experimental 15
3.3. Metodología 17
3.3.1. Evaluar el comportamiento morfológico de mandarino ‘‘Cleopatra’’, limón mandarino y naranjo agrio en estadíos tempranos de desarrollo, sometidos a condiciones de estrés salino. 17
3.3.2. Evaluar el comportamiento morfológico de mandarino ‘‘Cleopatra’’, limón mandarino y naranjo agrio en estadíos tempranos de desarrollo, sometidos a estrés por déficit y exceso de agua 19
3.3.3. Análisis estadístico 19
4. RESULTADOS 21
4.1. Variables vegetativas 21
4.1.1. Altura de la planta 21
4.1.1.1. Incremento de altura. 22
4.1.1.2. Tasa de crecimiento absoluto (TCA) de altura. 23
4.1.1.3. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de altura. 24
4.1.2. Número de hojas 25
4.1.2.1. Incremento de número de hojas. 26
4.1.2.2. Tasa de crecimiento absoluto (TCA) de número de hojas. 27
4.1.2.3. Tasa de crecimiento relativo (TCR) # de hojas. 28
4.1.3. Número de ramificaciones (# de ramificaciones) 29
4.1.4. Área foliar 30

4.1.5. Densidad estomática (número de estomas por mm^{-2}) 31
4.1.6. Diámetro de tallo 32
4.1.6.1. Incremento diámetro de tallo. 32
4.1.6.2. Tasa de crecimiento absoluto (TCA) diámetro de tallo. 33
4.1.6.3. Tasa de crecimiento relativo (TCR) diámetro de tallo. 33
4.1.7. Diámetro de copa 34
4.1.8. Volumen de copa 35
4.1.9. Peso seco aéreo 36
4.1.10. Peso seco radicular 37
4.1.11. Peso seco total 38
4.2. Correlaciones 39
5. DISCUSIÓN 46
6. CONCLUSIONES 49
7. RECOMENDACIONES 50
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 51
9. ANEXOS 57

“RESPUESTA MORFOLÓGICA EN DIFERENTES ESPECIES DE PORTAINJERTOS EN CÍTRICOS, SOMETIDAS A ESTRÉS SALINO E HÍDRICO BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO”

RESUMEN

El cultivo de cítricos tiene gran importancia a nivel mundial, por lo cual, se ha desarrollado tecnología de punta para su manejo agronómico con influencia en diferentes áreas de la producción de frutales. Uno de los temas con mayor énfasis es el estudio y desarrollo de portainjertos, resistentes a plagas, enfermedades y tolerantes a diferentes condiciones abióticas adversas, mismas que han causado pérdidas económicas, sociales y ambientales de grandes magnitudes. Entre los problemas más importantes que afectan a los cítricos, estan el estrés salino y el estrés hídrico por déficit y exceso. Por ello se estudió el comportamiento de tres portainjertos de cítricos, sometidos a condiciones de 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 tipos de portainjertos (mandarino 'Cleopatra', limón mandarino y naranjo agrio). Para la salinidad se mantuvo el sustrato a 6 dS/m (conductividad eléctrica), en déficit hídrico se trabajó con el 40 % de la capacidad de campo, en exceso se empleó el 150 % de la capacidad de campo y para condiciones óptimas se mantuvo a < 1dS/m y a capacidad de campo. Se evaluó la altura, el número de hojas y diámetro de tallo cada 10 días, durante 3 meses; el resto de variables (número de hojas, número de ramificaciones, área foliar, densidad estomática, diámetro de copa, volumen de copa, peso seco aéreo, peso seco radicular y peso seco total) fueron obtenidas o medidas al final del ensayo.

Para conocer el efecto del tipo de estrés sobre cada portainjerto se realizaron análisis tipo ANOVA (paramétricos y no paramétricos) y pruebas post-hoc de Tukey o DGC al 95 % de confianza. Además, todas las variables se correlacionaron entre sí mediante la prueba de Pearson. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la interacción entre el tipo de estrés y el tipo de portainjerto, algunas variables (altura, número de hojas, número de ramificaciones, área foliar, etc.) respondían solamente al tipo de estrés o al tipo de portainjerto de manera individual. En conclusión, el tipo de estrés que afectó negativamente fue el déficit hídrico mientras que el patrón limón mandarino mostró mejor comportamiento y tuvo los valores significativamente mayores para la mayoría de variables.

Palabras clave: sequía, estrés portainjerto, conductividad, salinidad, limón mandarino, naranjo agrio, mandarino 'Cleopatra'.

ABSTRACT

The Citrus plants cultivation has a great importance worldwide, so high technologies for their agronomic management have been developed in different areas. The study and improvement of pest and diseases-resistant rootstocks, with tolerance to adverse abiotic conditions, is one of the subjects where researchers have focused in the most, since those conditions have caused high economic, social and environmental losses. Some of the most important problems affecting Citrus plants are the salinity stress and water stress both by excess and by lack of. These are the reasons why the behaviour of three rootstocks of Citrus plants, submited to salinity and water stress conditions under greenhouse were studied. Twelve treatments of three stress types (salinity, water lack and water excess) plus one control (optimal conditions) and three species of rootstocks (Cleopatra mandarin, lemon mandarin and sour orange) were established. For salinity, soil was kept at 6 dS/m (electrical conductivity), in water deficit 40% of field capacity was used, in water excess 150% of field capacity was established and in optimal conditions it was kept in <1 dS/m and field capacity. Height, number of leaves and stem diameter were measure every 10 days for three months; the rest of variables (number of branches, foliar area, stomatic density, crown diameter, crown volume, aerial dry weight, radicular dry weight and total dry weight) were obtained or measured at the end of the experiment.

To know the effect of the stress type over each rootstock, ANOVA analyses (both parametrics and no parametrics) and 95%-confidence post-hoc Tukey or DGC tests were run. In addition, all variables were correlated between them by means of a Pearson test. Statistical significant differences were found in the interaction between the stress type and the rootstock species, some of the variables (height, number of leaves, number of branches, foliar area, etc.) were only responding to the stress type or the rootstock type, individually. In conclusion, the type of stress that negatively affected the most was the water deficit, whilst the lemon mandarin rootstock showed the best behaviour and had the significantly highest values for most of the variables.

Key words: drought, stress, rootstock, conductivity, salinity, mandarin lemon, sour orange, ‘Cleopatra’ mandarin.

1. INTRODUCCIÓN

La citricultura es importante a nivel mundial: de 194 países en 100 se realiza esta actividad, su cultivo y mercadeo sobrepasa a todas las frutas comerciales (FAO, 2017; Comité de gestión de cítricos, 2016).

Dentro del género *Citrus*, la naranja es el cultivar más importante y representa el 54 % del total y su consumo per cápita corresponde a 0,03 tn anuales, es así que el consumo en Ecuador es de 512903,67 tn anuales de las cuales se produce internamente 129660 tn y se importa 12047 tn de países como: Chile, EEUU, Perú y Colombia (FAO, 2017; ESPAC, 2019; Aduana del Ecuador, 2019).

En Ecuador hay un déficit anual de 371196,67 tn y una de las causas es la poca tecnificación agronómica, pese a ser un país con favorables condiciones edáficas y climáticas, entre las cuales se cita el fotoperiodo que es de 12 ± 1 horas de luz y beneficia la producción de cultivos citrícolas y frutas en general (Aduana del Ecuador, 2019).

En la provincia de Bolívar, cantón Caluma, había plantaciones de naranjo Valencia de más de 80 años de antigüedad hasta el año 2012, siendo un indicador de la falta de desarrollo técnico en el país (Yances Samantha, 2018).

Según Rodríguez (2012) entre algunos de los grandes problemas que enfrenta la citricultura están el estrés salino e hídrico por déficit y saturación que con el paso del tiempo se han convertido en condiciones fuertemente marcadas; por su parte Valarezo *et al.* (2014) puntualiza que se debe considerar que las plantaciones de los pequeños y medianos productores de cítricos son de tipo franco, es decir son plantas que provienen de semillas y no se realiza injertos, además de ser criollas; lo que origina heterogeneidad en rendimiento, problemas estacionales de cosecha, baja calidad de fruta, susceptibilidad a plagas, enfermedades y diferentes tipos de estrés, entre los que se considera el estrés hídrico y salino que mueve la presente investigación.

Una de las alternativas para el correcto manejo del estrés hídrico y salino según Rodríguez (2012) es el empleo de portainjertos resistentes o tolerantes a estos tipos de estrés, para así obtener rendimientos considerables que resulten rentables para el citricultor.

A nivel internacional existen portainjertos desarrollados para el cultivo de naranja, 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, restando oportunidades a medianos y pequeños productores.

Citrus reshni o mandarino 'Cleopatra', *Citrus* x *aurantium* o naranjo agrio y *Citrus* x *limonia* o limón mandarino son especies muy usadas como pie de injerto en Ecuador, mediante observaciones directas se ha comprobado que se adaptan a diferentes ambientes de estrés abiótico, por lo cual serán probadas como portainjertos.

Limón mandarino (*Citrus x limonia* var Lemandarin*)* proviene del cruce entre (*Citrus* x tangerina x *Citrus x limon*)) está emparentado con la lima Rangpur (*Citrus x limonia* var Rangpur) que es una hibridación entre (*Citrus reticulata* x *Citrus x limon*), se debe considerar que la información varía acorde al país, al tipo (morfológico o genético) y antigüedad de la investigación, esto debido a la alta tasa de cruzamiento entre los cítricos (Gallego *et al.,* 2017; Jiménez *et al.,* 2010; Castro *et al.,* 2014).

1.1. Objetivo general

- Evaluar el comportamiento morfológico de diferentes portainjertos de cítricos naturalizados, frente a situaciones de estrés abiótico bajo condiciones de invernadero.

1.2. Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento morfológico de mandarino 'Cleopatra', limón mandarino y naranjo agrio en estadíos tempranos de desarrollo, sometidos a condiciones de estrés salino.
- Evaluar el comportamiento morfológico de mandarino 'Cleopatra', limón mandarino y naranjo agrio en estadíos tempranos de desarrollo, sometidos a estrés por déficit y exceso de agua.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de los cítricos

Los cítricos presentan múltiples beneficios: contienen antioxidantes, vitamina C (el ser humano debe consumirla de fuentes externas), previenen el envejecimiento prematuro del organismo (regeneración de tejidos), evitan las enfermedades crónicas-degenerativas como el cáncer, mantienen los huesos, encías y dientes sanos, aumentan las defensas, alivian los resfriados, dolores de garganta, músculos y gripes, además, tienen acciones antibacteriales y antivirales, la fibra de los cítricos limpia el tracto digestivo, desecha toxinas y grasas (Aguilar *et al.*, 2012).

La importancia económica de los cítricos según Roldán *et al.* (2004) es notoria, ya que solamente Brasil representa el 21,4 % de la producción mundial y según Carbonell (2018) en Argentina emplean a 5300 productores de cítricos, 33 empacadoras de fruta, 75 casas empacadoras de fruta para exportación, 22 plantas industriales, 91490 mano de obra directa, 6440 empleos permanentes, 5460 viveristas, 27900 empleos para labores de poda, desmalezado y labores de pre cosecha, 25000 para labores de cosecha, 58350 empleos transitorios etc, en todos los procesos de producción de esta fruta.

2.2. Origen

Según Wu *et al.* (2018) los cítricos actuales se originaron en el sudeste de Asia, ya que es una región con gran biodiversidad, sin embargo, los mismos autores presentan zonas específicas de la génesis de los cítricos, siendo estas las estribaciones del sudeste del Himalaya, la región Oriental de Assam, el norte de Myanmar y el oeste de Yunnan, sus estudios refieren que los cítricos ancestrales fueron sometidos a un proceso de especiación repentina durante el Mioceno tardío (hace 6-8 millones de años) gracias a factores ambientales, es decir, cuando los monzones (vientos estacionales) pasaron de ser húmedos a un clima más seco.

En el mismo estudio refieren que las especies de cítricos australianos se separaron de los cítricos continentales durante el Plioceno temprano y el Pleistoceno (hace 4 millones de años aproximadamente) y luego de ese fenómeno de especiación natural se puede distinguir entre especies puras, híbridos y mezclas.

Los parentales asiáticos de los cítricos actuales según Wu *et al.* (2018) son: Kumquat, micrantha, cidra, mandarino pura (*Citrus tachibana,* 3 mandarinos chinas sin nombre, Sun Chu Sha Kat) y pomelos ancestrales.

2.3. Morfología

Los cítricos presentan una altura general de siete a diez metros sin manejo agronómico dependiendo de la variedad y de uno a dos metros con manejo para fines operativos.

Según González *et al.* (2017) los cítricos presentan de manera general las siguientes características: Su raíz es pivotante y profunda dependiendo del tipo de suelo, presentan tallo monopódico, leñoso, cilíndrico y su ramificación depende de la especie, tiene hojas compuestas unifoliadas con bordes dentados como en la naranja agria y limón, pueden presentar bordes enteros como en la naranja común, su venación es reticulada y bien marcada, además sus hojas tienen aceites esenciales lo que les da el olor característico.

Las flores de los cítricos son hermafroditas, pentámeras, actinomorfas, conspicuas y pueden estar ubicadas en racimos o flores solitarias, son de color blanco con algunas excepciones como la flor del cidro que son violáceas, sus verticilos florales son bien diferenciados, emanan un olor agradable que es característico de este género de las rutáceas.

Su fruto es una baya modificada denominada hesperidio, cuya forma, color y sabor depende de la variedad en cuestión, pero son diferenciables por su olor particular para cada especie o variedad, dentro del fruto presentan segmentaciones tabiculares membranosas cuyo color y número de semillas es variable.

2.4. Taxonomía

Reino: Plantae.
División: Magnoliophyta.
Clase: Magnoliopsida.
Subclase: Rosidae.
Orden: Geraniales.
Familia: Rutacea.
Subfamilia: Citroideae.
Tribu: Citreae.
Género: *Citrus*

2.5. Distribución y principales países productores de cítricos

Alrededor del mundo la distribución y producción de cítricos está en 140 países, entre ellos: Brasil con 18684 toneladas, Estados Unidos con 7357 toneladas, India con 4266 toneladas, México con 4248 toneladas y China con 3172 toneladas como los principales países productores con el 63,3 % del total de producción mundial. En el año 2017 la Organización para la agricultura y alimentación (FAO) reportó 120 millones de toneladas de fruta fresca producida mundialmente, siendo la naranja la especie más cultivada a nivel mundial con alrededor de 63,3 millones de toneladas que representan el 52,9 del total de la producción de cítricos mundiales (Varela, 2018).

2.6. Condiciones edafoclimáticas

Valarezo *et al.* (2014), señalan que el crecimiento, producción y calidad de los cítricos dependen de características edafoclimáticas, entre las cuales se encuentran:

Temperatura: se desarrollan de manera óptima en temperaturas comprendidas entre 18 ºC a 30 ºC, valores inferiores promueven el poco desarrollo por baja actividad fotosintética y escaso intercambio gaseoso, de hecho, la temperatura es uno de los factores que determina la curva de crecimiento de los cítricos.

Heliofanía: es un factor relevante para los cítricos, por lo cual necesitan de ocho a 12 horas de luz directa o indirecta para realizar sus actividades metabólicas.

Precipitación: los cítricos son especies sensibles al exceso de agua, ya que un mal drenaje y textura pesada del suelo lleva a la pudrición radicular y posterior muerte de la planta, son especies que se han adaptado a tolerar límites de estrés hídrico por déficit siendo su necesidad o rango óptimo entre 900 a 1200 mm/año de precipitación.

Humedad relativa: interviene en el cierre y abertura estomática por lo que se considera un factor clave, en los cítricos el intercambio gaseoso define el crecimiento, por lo cual la humedad relativa óptima está en un rango entre 40 % a 70 %.

Exigencias edáficas: al ser especies susceptibles a la pudrición radicular necesitan suelos con buen drenaje, con materia orgánica de 3 % a 5 %, pH entre 5,5 y 6,5, profundidad no menor a un metro y la salinidad del suelo entre cuatro a ocho dS/m o conductividad eléctrica (indicador de salinidad) menor a este rango.

2.7. Variedades de cítricos

Según Valarezo *et al.* (2014), las variedades citadas a continuación son las más conocidas en el mundo:

2.7.1. Naranjas dulces (*Citrus sinensis*).

Grupo 'Valencia': naranjas de gran importancia mundial, de cultivo tardío, se caracteriza por mantener los frutos en el árbol sin afectar su calidad, frutos de tamaño mediano (200 g), esféricos a oblongos, pueden o no presentar semillas (tres a seis semillas por fruto), alrededor de 48 % de jugo y 11 % de azúcares solubles o grados brix, su cultivo en zonas tropicales alcanza una producción entre 25666 kg/ha a 37333 kg/ha, presenta variedades principales como 'Olinda', 'Campbell', 'Old Bud Line' y 'Frost' entre otras.

'Washintong navel': distintiva por tener un fruto secundario a manera de ombligo (navel), no tiene semillas, frutos oblongos, anaranjados, más grandes (210 g) que otras variedades, en condiciones de litoral presenta rendimientos bajos correspondientes a 18360 kg/ha, tiene 25 % de jugo y 12 % de grados brix, tiene un alto contenido de limonina (sustancia amarga y no apetecible) si no se consume en fresco.

2.7.2. Mandarinos.

'Clementina' (*Citrus* x *clementina*)**:** la más sembrada en todo el mundo, con follaje denso, con altos rendimientos (38897 kg/ha), calidad de fruta óptima, 10 % de grados brix y 38 % de jugo, posee semillas (cinco semillas) y tiene un peso de 90 g cada fruta. Es apetecida a nivel mundial por el color anaranjado de la cáscara y buena cantidad de jugo.

'Temple' o 'Tangor' (*Citrus* x *nobilis*)**:** híbrido natural entre tangerina y naranja dulce, de crecimiento denso, frutas aplanadas de buena calidad, 11 % de grados brix y 53 % de jugo, fáciles de pelar y separar sus gajos, tiene un peso de 160 g y posee alta cantidad de semilla (15 a 20) y su rendimiento promedio es de 31700 kg/ha.

Tangelo 'Orlando' (*Citrus* x *tangelo*)**:** híbrido entre tangerina y pomelo, es un árbol vigoroso y grande. La fruta tiene un peso promedio de 165 g, buen porcentaje de jugo (48 %) y buen grado brix (11 %). De forma oblonga, sin semillas o con semillas (13 semillas) cuando hay polinización cruzada.

2.7.3. Toronja.

Es una especie originaria de América, se cree que es una hibridación entre naranja y pomelo.

'Duncan' (*Citrus* x *paradisi***):** es un árbol vigoroso de seis a siete metros de altura, por lo cual se siembra a mayor distancia, sus frutos presentan un peso de 473 g y 22 semillas, 50 % de jugo y 12 % de grados brix o contenido de azúcares solubles, con un rendimiento de 24115 kg/ha.

'Marsh seedless' (*Citrus* x *paradisi***):** presenta semillas (cuatro semillas) o no, los frutos se mantienen sobre el árbol sin perder su calidad por lo cual puede extenderse su periodo de cosecha, con un peso de 305 g, 46 % de jugo y 11 % de grados brix.

2.7.4. Limas o limones.

Lima 'Tahití' (*Citrus latifolia***):** es sensible al frío, se considera como lima ácida y se la conoce como 'West Indian' o 'limón mexicano', tiene 40 % de jugo y un peso de 98 g por fruto y no tiene semillas, su producción llega a 31970 kg/ha.

Limón 'criollo' o 'sutil' (*Citrus aurantifolia***):** se diferencia porque sus frutos son pequeños, buena cantidad de jugo (35 %) en referencia a su tamaño, presenta ocho semillas por fruto, pesa 35 g, su producción llega a 31970 kg/ha.

2.8. Portainjertos en cítricos

El portainjerto forma el sistema radicular y brinda sostén a la planta, además, es responsable de la absorción de agua y nutrientes para la translocación a la parte fotosintética, en cítricos cumple la función de limitar el paso de sales del suelo al sistema vascular de la planta, brindándole tolerancia por estrés salino, ayuda a la tolerancia contra el estrés hídrico por exceso y déficit de agua, anexo a las propiedades señaladas, algunos tipos de portainjertos brindan resistencia o tolerancia a enfermedades como gomosis del pie y tristeza de los cítricos. Ofrecen también control en el crecimiento vegetativo, para lo cual existen portainjertos de diferentes vigores (Valarezo *et al.*, 2014).

Las plantas cítricas se propagan sobre un pie o portainjerto y no por semilla (aunque es posible), en la mayoría de plantaciones citrícolas en el mundo la planta está formada por dos partes bien diferenciadas (Pie o portainjerto y copa) y a esa fusión vegetativa se le llama cítrica (INTA, 2012).

2.9. Especies de portainjertos para cítricos

INTA (2012) menciona que existen los siguientes tipos de portainjertos:

'Citranges' (*Citrus sinensis* x *Poncirus trifoliata***):** híbrido intergenérico entre naranja dulce y 'Trifolio', los más conocidos son 'Troyer' y 'Carrizo', tienen hojas trifoliadas y caedizas con los folíolos más grandes que su parental trifoliado (*P. trifoliata*), las especies injertas sobre este patrón producen plantas con alto vigor, tamaño intermedio, productivas y buena calidad de fruta, se comportan bien en suelos profundos, con pH no muy alto (menor a seis), resistencia media al frío. Sensibles a exocortis y tolerante a tristeza.

'Citrumelo' (*Citrus paradisi* x *P. trifoliata***):** híbridos intergenéricos entre 'Pomelo' y 'Trifolio', hay muchas variedades de este portainjerto pero el más conocido es el 'Swingle' creado en EEUU, y ensayado en California, los árboles presentan poco vigor con variedades del grupo 'Valencia' y en cambio, muy vigorosos con pomelos, tolera el frío menos que *P. trifoliata*, posee una tolerancia similar al naranjo agrio y mandarino ''Cleopatra'', superior al 'Carrizo', se considera un buen portainjerto para la mayoría de suelos excepto los arcillosos (25 %-30 % de arcilla), tolerante a Clostrevirus (CTV) y la enfermedad de exocortis, causada por el viroide Citrus Exocortis Viroide (CEVd). Se recomienda la producción en vivero bajo cubierta plástica.

Limonero rugoso (*Citrus jambhiri***)**: se cree que es un híbrido natural y con características diferentes a los limones verdaderos, tiene apariencia grosera y su calidad interna es pobre, como portainjerto brinda vigorosidad y gran tamaño a las frutas, pero con cáscara gruesa, pobres características organolépticas, recomiendan su uso en zonas húmedas, cálidas, suelos arenosos y profundos. Tolerante a CTV y exocortis. Es susceptible al frío.

Macrophylla (*Citrus macrophylla***):** brinda características de vigor y productividad a las especies injertadas sobre él, se desarrolla bien en suelos arenosos, calcáreos, tolera la sequía, es sensible al frío, las variedades injertadas sobre este patrón son susceptibles a CTV excepto el limonero.

Naranjo dulce (*Citrus sinensis***):** denominado criollo, como portainjerto es poco usado, las plantas injertadas sobre él son de gran tamaño, pero su crecimiento es lento en comparación con otros portainjertos, no es precoz, pero confiere buena calidad de fruta en todas las especies. Su desarrollo es aceptable en suelos sueltos, bien drenados y arenosos. Es tolerante a CTV y exocortis, pero no tolera psorosis ni gomosis del pie.

Rangpur (*Citrus limonia***):** Se asemeja a las mandarinos, tiene flores pequeñas, se desarrolla bien en zonas cálidas y húmedas. Es precoz y productivo pero sensible al frío, brinda características al

injerto, lo cual permite cosechar frutas de buen tamaño, calidad aceptable (menos brix y acidez), no tolera exocortis ni gomosis de pie, pero sí CTV.

Trifolio (*Poncirus trifoliata***):** No es del género *Citrus*, pero permite su uso porque es de la misma familia, presenta características foliares resaltables (tiene hojas trifoliadas), es muy usado en zonas con problemas de heladas, presenta una floración precoz e induce resistencia al frío en especies injertadas, se seleccionan individuos para portainjertos dependiendo del tamaño de las flores ('Flying Dragon'), los que han tenido flores pequeñas inducen características menores a la especie injertada. Se adapta a suelos con pH entre 5 y 6, se desarrolla bien en suelos pesados, pero con poca humedad, no tolera suelos calcáreos (carbonato de calcio), salinos, demasiado arcillosos o arenosos. Tolera gomosis de pie, nemátodos y es sensible a la exocortis.

Los trifolios de flor grande son: Concordia, Benecke, Christian, Pomeroy, Towne y Yamaguchi. Los trifolios de flor pequeña son: Barnes, Davis, English, Jacobson, Rich 16-6, Rubodoux y Taylor.

Volkameriano (*Citrus volkameriano***):** híbrido de limón, promueve mayor vigor y tamaño en las plantas injertadas, la producción es muy buena y la fruta es de buena calidad, tolera el frío, CTV, exocortis y viroides.

Mandarino 'Cleopatra' (*Citrus reshni***):** Brinda poca precocidad a las especies injertas, plantas con vigor medio, en suelos pesados y arcillosos eleva su producción, tolera suelos salinos, produce fruta pequeña con buenas características organolépticas. Tolera CTV, psorosis y exocortis.

Naranjo agrio (*Citrus aurantium***):** conocido como naranjo de Sevilla, es el portainjerto más usado en todo el mundo, pero ha disminuido su popularidad por ser susceptible a CTV, produce fruta de buena calidad para consumo en fresco, brinda vigor medio, tolera suelos con fertilidad media y drenaje deficiente, se adapta a un pH mayor a siete y salinidad mayor a ocho dS/m, es de resistencia media al frío, tolera psorosis, exocortis (viroides).

2.10. Estrés salino en cítricos

Los cultivos de cítricos según Montoliu (2010) son sensibles a la salinidad y en particular a los iones Cl^- que son los responsables de la susceptibilidad, responsabilidad reportada en trabajos previos de Fergusson *et al.* (2005) en los cuales, se menciona que los efectos de los cloruros en la fisiología de los cítricos son diversos, pero entre los de carácter agronómico aplicado se destacan: a) reducción en el desarrollo y escasa emisión de brotes que se necrosan y caen; b) disminución del volumen de producción y número de frutos, teniendo en cuenta que, la calidad se mantiene

inalterada; c) mayor abscisión foliar que de ser masiva produce la muerte del vegetal; d) efecto osmótico negativo por acumulación de sales en el sustrato y la consecuente baja del potencial hídrico y e) fitotoxicidad por los iones Cl^-.

La inhibición del crecimiento vegetal, provocado por la salinidad como consecuencia del bajo potencial hídrico, es uno de los efectos de este estrés, en este primer periodo el estrés es originado por salinidad en el exterior de las plantas. El crecimiento se detiene o minimiza en primera fase por la síntesis de hormonas vegetales en las raíces, siendo transportadas hasta las hojas induciendo el cierre de estomas como adaptación al estrés. Debido a la acumulación de aminoácidos compatibles como la prolina, los cítricos son capaces de mantener la turgencia foliar y su adaptación transitoria a las nuevas condiciones. Estas condiciones ralentizan el metabolismo, pero permiten a la planta mantener su crecimiento. En un segundo periodo la continua y masiva entrada de iones Cl^- provoca intoxicación y abscisión foliar; además, dicha acumulación viene acompañada de una reducción del intercambio gaseoso y a largo plazo, la disminución progresiva del contenido de carbohidratos (Arbona *et al.*, 2008).

Plantas injertadas sobre el patrón 'Citrange Carrizo' y sometidas a estrés salino exhibieron una relación directa entre la producción de ABA (ácido abscísico), ACC (amino ciclo propano) y contenido de iones Cl^-, lo cual sugiere que la acumulación de estos iones estimula mediante el ABA la síntesis de ACC y su posterior conversión a etileno (responsable directo de la abscisión foliar), en combinaciones patrón-variedad la acumulación de Cl^- y Na^+ en la parte aérea está controlada por el patrón principalmente, mientras que la reducción del intercambio gaseoso esta controlado por la variedad (Montoliu, 2010).

Según Moya *et al.* (2002), la tolerancia de los cítricos a la salinidad está basada en la capacidad para reducir la acumulación masiva de Cl^- en las células, jugando un papel fundamental los aspectos morfológicos y fisiológicos de cada especie, ya que la absorción de iones esta ligada a los vasos xilemáticos y la extensión del sistema radicular que varían en cada especie y está ligada estrechamente a la hidratación vegetal. La absorción de cloro en cítricos se da mediante mecanismos pasivos y está relacionada con la concentración externa de estos iones.

La transpiración y crecimiento de la biomasa foliar están asociadas a la absorción y distribución de los iones cloro, es así, que, en los genotipos tolerantes, la relación Cl^-/volumen de agua absorbida, es menor que en los genotipos sensibles, parte de estas características diferenciales se

cree que otorgan mayor tolerancia a la salinidad, cualidad que puede ser transferida a la variedad injertada, siendo una gran ventaja bajo condiciones salinas (Moya *et al.*, 2002).

2.11. Estrés hídrico por saturación en cítricos

Se denomina asfixia radicular cuando la cantidad de agua del suelo es superior a la que la planta puede absorber netamente a través de sus raíces, dicha condición crea encharcamiento y puede ser causa de mal drenaje o lluvias excesivas, un efecto del anegamiento se relaciona con la respiración aeróbica radicular impidiendo la síntesis de ATP (adenosín trifosfato) que es la fuente principal de energía celular, causando alteración metabólica, desequilibrios hormonales, alteración en la distribución de carbohidratos y deficiente absorción de nutrientes, lo cual desemboca en malestar general del vegetal y le resta productividad (Bailey *et al.*, 2008).

Rodríguez (2012) señala que, las variables a considerar para determinar la influencia del estrés hídrico por saturación son: número de hojas, retraso en el crecimiento y menor producción, por su parte Colmer *et al.* (2009) puntualiza que los cambios para adaptarse pueden ser de carácter anatómico, bioquímico y morfológico.

La transpiración y asimilación de CO^2 disminuyen dentro de las 24 horas después del encharcamiento y se mantienen mientras continúa el estrés, la disminución de la conductancia estomática que controla la transpiración mediante señales hormonales del ABA y que es el responsable del cierre y apertura de estomas; el encharcamiento da paso a la proliferación de hongos como *Phytophthora* spp que es un hongo que puede matar al árbol de cítrico (García *et al.*, 2006).

Cualquier tipo de respuesta, positiva o negativa al estrés hídrico, está influenciada por factores anatómicos como los vasos del xilema que transportan agua influyendo directamente sobre el crecimiento (Rodríguez *et al.*, 2012).

2.12. Estrés hídrico por déficit

El estrés por déficit se presenta cuando las condiciones biofísicas impiden la absorción suficiente de agua y no se reponen las pérdidas causadas por la transpiración, esta condición en cítricos reduce el crecimiento vegetativo induciendo: marchitamiento foliar, deficiente conductancia estomática, transpiración ralentizada y asimilación interrumpida de CO^2, también reducción de la cosecha, tamaño y deficiente calidad de frutas, causando pérdidas económicas considerables (Rodríguez, 2012).

El cierre estomático es el principal mecanismo vegetal para evitar la pérdida de agua cuando los cítricos están sometidos a déficit hídrico, por lo cual se reduce la asimilación neta de CO^2 teniendo en cuenta que, bajo dichas circunstancias, los cítricos son más sensibles a las altas temperaturas del aire y altos déficits de presión de vapor (García *et al.*, 2006).

Frente al estrés hídrico, los cítricos tienen la capacidad de almacenar grandes cantidades de agua en la madera y frutos, lo cual preserva a la planta de llegar a valores críticos de estrés. En respuesta a la falta de agua, el sistema radicular produce ácido abscísico que se traslada por el xilema y envía señales a las hojas que regulan el mecanismo de cierre estomático y de esta manera evita la pérdida de agua (Rodríguez, 2012).

Además del cierre estomático, como mecanismo contra el déficit hídrico, los cítricos incrementan la relación "raíz / parte aérea" y reducen el número de hojas y el área foliar. Referente al ajuste osmótico, el incremento de la concentración de solutos en las hojas, permite una turgencia mínima para que los estomas trabajen con cierta normalidad y salvaguarden los niveles adecuados de fotosíntesis (Yin *et al.*, 2005).

La tolerancia a sequía ha sido relacionada a la arquitectura de la raíz, ya que es la primera evidencia visual del estrés hídrico. El sistema radicular cumple la función de extraer agua del suelo de capas profundas que no está disponible al 100 % por causa del potencial mátrico (potencial necesario para extraer el agua adherida a las partículas sólidas en la matriz del suelo). Así mantiene el potencial hídrico de la copa y una mayor turgencia celular, resultando en mayor tasa fotosintética. Mantener el flujo hídrico desde la raíz, aumenta la absorción de minerales, incrementando el vigor de las plantas, pero en condiciones de sequía la extracción sin reposición de agua predispone a los cítricos a un déficit hídrico severo (Rodríguez *et al.*, 2012).

Durante el estrés hídrico por déficit, la raíz induce barreras anatómicas en el apoplasto mediante lignificación y suberización de las paredes celulares, disminuyendo así la normal asimilación de agua para la parte superior del vegetal, esta estrategia se da con la finalidad de evitar la pérdida extrema de agua e iones K^+ y NO_3^- asegurando que la planta pueda recuperarse con mayor rapidez cuando cese el estrés (Rodríguez *et al.*, 2012).

2.13. Investigaciones realizadas

En los cultivos de cítricos los diferentes tipos de estrés bióticos y abióticos han significado y significan materia de estudio específica, considerando que son los responsables de la mayor parte de las pérdidas de los cultivos (Rodríguez, 2012; Valarezo *et al.*, 2014; Núñez *et al.*, 2017) que se traducen en menor rentabilidad.

Ramos (1979) observó que el 'limón rugoso' bajo déficit hídrico redujo al 50 % el flujo de agua desde las raíces hacia el área superior, atribuyendo dicha situación a la suberización de las paredes celulares del córtex y el descenso de la permeabilidad de las membranas celulares, además de la menor acción de las proteínas Acuaporinas encargadas del transporte del agua en las células de la planta, siendo esa acción revertida cuando el suelo recuperaba su potencial mátrico.

Según García *et al.* (2006) en ensayos realizados en portainjertos bajo estrés hídrico por saturación se considera al Citrumelo 'Swingle' y *Citrus volkameriana* muy resistentes, frente a mandarino ''Cleopatra'' y Citrange 'Troyer', sensibles a sequía, mientras que Citrange 'Carrizo' es tolerante a encharcamiento. Así también, Rodríguez (2012) señala que en condiciones de anegamiento las plantas de limón rugoso reducen la conductancia hidráulica y esto se asocia a la disminución de la actividad estomática y crecimiento de la parte aérea.

Syvertsen (1988) observó que en plantas de naranjo dulce 'Pineapple', mandarino 'Cleopatra' y *Poncirus trifoliata* de 1 año de germinadas, sometidas a estrés salino, redujeron su conductividad hidráulica en las raíces y la transpiración. Apoyando estos resultados Zekri (1991) refiere que, en condiciones salinas, las plantas de 'naranjo amargo' y mandarino ''Cleopatra'' mostraron también dicha reducción, siendo además una relación lineal positiva entre la conductividad hidráulica y la conductancia estomática.

Por lo anterior, en este trabajo se planteó evaluar el comportamiento morfológico de mandarino ''Cleopatra'', limón mandarino y naranjo agrio, frente a situaciones de estrés abiótico bajo condiciones de invernadero.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del estudio

El estudio se estableció en un invernadero de la Quinta Experimental Docente "La Argelia" de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en la provincia de Loja, cantón Loja, ciudad Loja (fig. 1). Se ubica geográficamente a 3°59'35,3" S 79°12'15,2" O, con una altitud media de 2060 msnm. Tiene un clima que es una transición entre tropical ecuatorial y frío andino o templado húmedo, y según la clasificación de Köppen y Geiger se clasifica como Cfb (Templado lluvioso oceánico). Presenta una temperatura que oscila entre 16 ºC a 21 ºC y el mes más caluroso es diciembre con 17,2 ºC mientras que julio es el mes más frío con 15,9 ºC. La humedad relativa se ubica entre 74 % y 80 %, la precipitación media es de 1058 mm/año, siendo el mes más seco agosto y concentrándose la mayor parte de la precipitación en marzo (Climate-data.org, 2019).

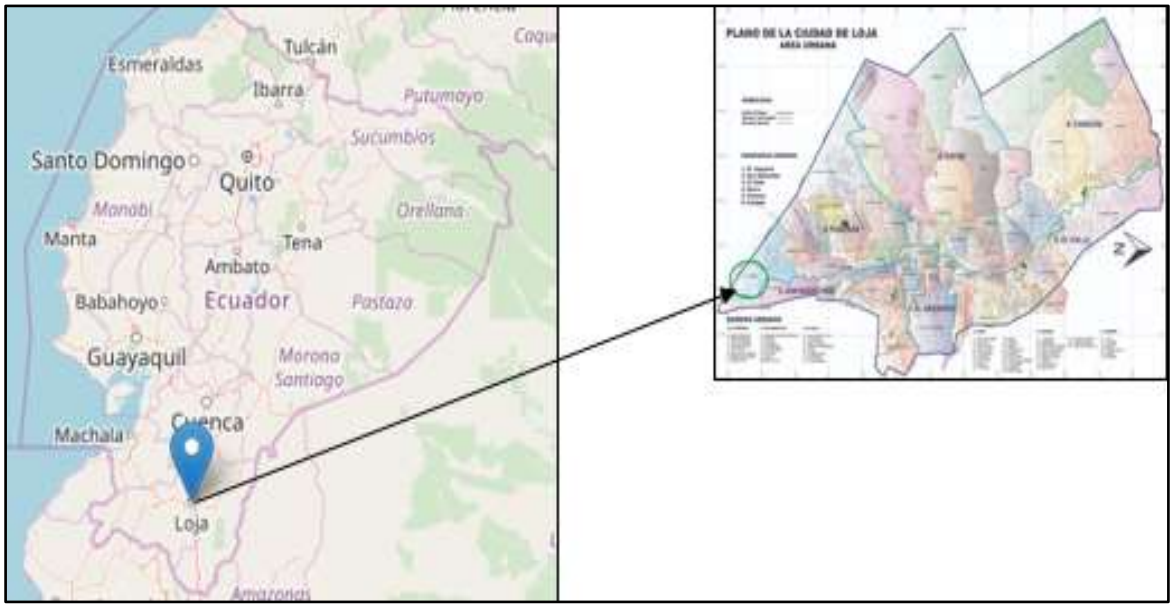


Figura 1. Ubicación del estudio en el cantón Loja, Ciudad de Loja, sector "La Argelia"

3.2. Diseño experimental

La investigación fue descriptiva correlacional, se midió la influencia del estrés abiótico sobre las especies de portainjertos de mandarino 'Cleopatra', limón mandarino y naranjo agrio, para lo cual se tomaron medidas de variables morfológicas vegetativas y se determinó su correspondencia con los efectos del estrés respectivo.

Se estableció el ensayo según el diseño experimental completamente al azar con arreglo bifactorial, para lo cual se usó el siguiente modelo estadístico:

$$yijk = \mu + \alpha i + \beta j + (\alpha\beta)ij + uijk$$

en donde: **μ**= Media global; **αi**= Efecto del factor 1; **βj**= Efecto del factor 2; **(αβ)ij**= Interacción de niveles; **uijk**= Componente aleatoria.

Además, se estableció un esquema de diseño para la implementación del ensayo en campo (Figura 2), en donde:

Factor A= 4 tipos de estrés (Salino, hídrico por exceso, hídrico por déficit y testigo en condiciones óptimas).

Factor B= 3 especies de portainjertos (Mandarino 'Cleopatra', limón mandarino y naranjo agrio)

Unidad experimental= 1 planta.

Número de Repeticiones= 5.

FACTOR A X FACTOR B= **4 (**Tipos de estrés) x **3** (Especies de portainjertos)= **12 x 5** (Repeticiones)= **60** Unidades experimentales.

T1= Salinidad + mandarino 'Cleopatra'.

T2=Salinidad + limón mandarino.

T3=Salinidad + naranjo agrio.

T4=Déficit hídrico + mandarino 'Cleopatra'.

T5=Déficit hídrico + limón mandarino.

T6=Déficit hídrico + naranjo agrio.

T7=Exceso hídrico + mandarino 'Cleopatra'.

T8=Exceso hídrico + limón mandarino.

T9=Exceso hídrico + naranjo agrio.

T10=Condiciones óptimas + mandarino 'Cleopatra'.

T11=Condiciones óptimas + limón mandarino.

T12=Condiciones óptimas + naranjo agrio.

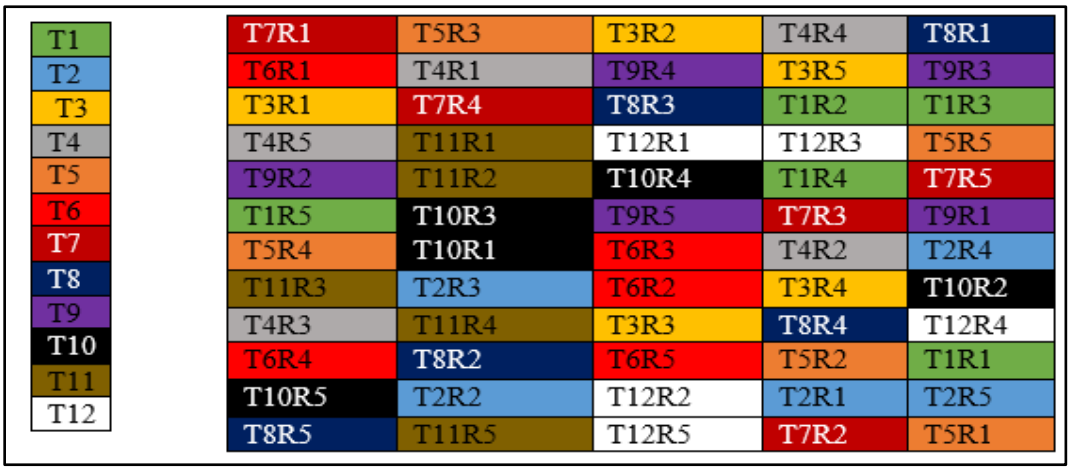


Figura 2. Esquema del diseño experimental

3.3. Metodología

3.3.1. Evaluar el comportamiento morfológico de mandarino ‘‘Cleopatra’’, limón mandarino y naranjo agrio en estadíos tempranos de desarrollo, sometidos a condiciones de estrés salino.

Para dar cumplimiento a este objetivo específico se contó con portainjertos de ocho meses desde la germinación.

Se definió la metodología para someter a los portainjertos al estrés salino siendo la siguiente:

Se preparó un sustrato estándar con tres partes de tierra de montaña y dos partes de arena de río.

Para medir la conductividad eléctrica de partida que nos indica la salinidad, se tomó una muestra de 200 g de sustrato a la cual se le agregó 400 ml de agua destilada para obtener un extracto de saturación en proporción 1:2 según la metodología descrita por Aguirre (2009) y mediante el uso del conductímetro se determinó la conductividad eléctrica inicial, la misma que fue de 1,48 dS/m.

Para elevar el contenido de sales del sustrato se usó una solución de 40,6 mM NaCl (4.0 dS/m≈40 mM NaCl), dicha concentración se sustenta en trabajos previos acerca de salinidad en cítricos (Montoliu, 2010; Aguirre, 2009).

El riego se mantuvo a capacidad de campo según la metodología de Sandor (2008) y apoyándose en los requerimientos hídricos de los patrones en función de las características del sustrato y con apoyo del método gravimétrico para determinar humedad del suelo.

Para mantener los niveles de salinidad adecuada, se realizaron medidas al sustrato cada 20 días con el uso del conductímetro manual y mediante la adicción de NaCl diluido en el agua de riego, se mantuvo el rango definido para estrés salino.

Para evaluar el comportamiento de los portainjertos, se midió la altura de la planta, número de hojas y diámetro de tallo cada diez días durante diez semanas, mientras que el número de ramificaciones, área foliar, densidad estomática, diámetro de la copa, volumen de la copa, peso seco de la parte aérea, peso seco radicular y peso seco total que se midieron al final del ensayo.

Altura de la planta: se midió con el uso de una cinta métrica desde el cuello al meristemo apical, se expresaron los datos en centímetros (cm).

Número de hojas: se contó por observación directa, se consideró como hoja aquella que estuviera con la lámina foliar extendida al menos en 80 %.

Número de ramificaciones: se contaron mediante observación directa y la medida fue el número total de ramificaciones.

Área foliar: para medir este parámetro se seleccionaron 25 hojas de todo el ensayo y se midió largo y ancho de las mismas, mediante fotografías y el programa Photoshop se determinó el área foliar, lo cual permitió establecer una ecuacion general de regresión en Excel con base en el ancho de las hojas, para definir el área foliar de cada tratamiento se tomó la medida de ancho de todas las hojas expandidas de dos plantas representativas por tratamiento y se expresó el dato en centímetros cuadrados (cm^2) (Lee, 1986).

Densidad estomática: se lo efectuó con el uso de la técnica conocida como impronta, que radica en emplear una capa fina de esmalte incoloro para uñas en un área determinada del envés, se usaron dos hojas por tratamiento, la región de muestreo se ubicó en la parte central entre la venación secundaria, una vez seco el esmalte se removió la capa y se montó en un portaobjetos (Grant y Vatnick, 2004).

Para la observación, se usó el microscopio óptico OLYMPUS BX41 con el aumento 10X y para fotografiar los estomas, el programa Micro Cam Ver 5.7, se capturaron cinco áreas de 120000 μm^2 aproximadamente, pero se contabilizaron dos áreas, luego se hizo la transformación a mm^2 (1 mm^2=1000000 μm^2) se expresó el dato en número de estomas por mm^2 (Barrientos *et al.*, 2003).

Diámetro del tallo: se tomaron medidas con el uso de un calibrador a la altura del cuello del portainjerto, se expresaron los datos en milímetros (mm).

Diámetro de la copa: se tomaron medidas del diámetro con el uso de una cinta métrica en sentido norte-sur y este-oeste, proyectando la copa hacia la parte baja (suelo), luego se promedió y se expresaron los datos en centímetros (cm).

Volumen de copa: se determinó mediante la aplicación de la fórmula de Turrel: $Vol= 0,5236*H*D^2$ en donde 0,5236 es una constante, H es la altura de la planta y D es el diámetro de copa en centímetros (Milla *et al.*,2009).

Peso seco aéreo: se consideró la parte aérea como la parte desde el cuello hasta el meristemo apical primario, para lo cual se tomaron dos plantas de cada tratamiento y se las ingresó a la estufa a 75 ºC por un lapso de 72 horas y se expresaron los datos en gramos.

Peso seco radicular: se consideró la parte radicular como la parte desde el cuello de la raíz hasta la cofia de la misma, se ocupó el área radicular de las plantas a las cuales se les secó la parte aérea,

posteriormente se deshidrataron en la estufa a 75 ºC por 72 horas y se pesaron en una balanza analítica, se expresaron los datos en gramos.

Peso seco total: se determinó mediante la suma de los pesos aéreo y radicular de la planta, se expresaron los datos en gramos.

3.3.2. Evaluar el comportamiento morfológico de mandarino ‘‘Cleopatra’’, limón mandarino y naranjo agrio en estadíos tempranos de desarrollo, sometidos a estrés por déficit y exceso de agua

Para dar cumplimiento a este objetivo específico se contó con portainjertos de ocho meses desde la germinación.

Para someter a los portainjertos a estrés por exceso de agua, se definió el porcentaje de humedad del sustrato, según la metodología basada y modificada a partir del método descrito por Tomassino (2018):

Para someter los patrones a estrés por exceso de agua se trabajó con el 150 % de la capacidad de campo.

Para someter a los portainjertos a estrés hídrico por déficit, se definió un nivel del 40 % de la capacidad de campo, basado en medidas tensiométricas y porcentajes de riego establecidos en ensayos realizados por Tomassino (2018), los cuales consistieron en saturar un peso conocido de sustrato secado por 24 horas a 105 ºC, luego saturarlo completamente y dejarlo drenar hasta peso constante para definir el 100 % de la capacidad de retención máxima de agua o capacidad de campo.

El control de riego se realizó sobre el ensayo en campo, mediante el uso de un tensiómetro manual calibrado, cuyos valores sirvieron de referencia para mantener los niveles de humedad adecuados (al 40 % de la capacidad de campo para déficit hídrico y el 150 % de la capacidad de campo para exceso hídrico).

Se evaluaron las mismas variables del primer objetivo con la misma frecuencia.

3.3.3. Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico se usó el programa Infostat mediante pruebas de análisis de varianzas (ANAVA) y su respectiva verificación de supuestos; en casos en los cuales no se cumplieron los supuestos, se realizó transformación de datos, pruebas no paramétricas de Friedman y Kruskal Wallis. Para las variables en donde se encontró diferencias estadísticas significativas, se realizaron pruebas de comparación múltiple de Tukey y DGC al 95 % de

confianza. Pruebas adicionales de Pearson también fueron utilizadas para medir el nivel de correlación entre variables.

4. RESULTADOS

4.1. Variables vegetativas

4.1.1. Altura de la planta

No se encontró interacción entre los factores: tipo de estrés y especie de portainjerto (Anexo 2, Figura 38). Al analizar la influencia de manera independiente sobre la variable altura, se encontraron diferencias significativas.

En relación al tipo de estrés, como era de esperarse, la mayor altura se registró en condiciones óptimas (48,58 cm), siendo significativamente superior a la altura obtenida en el déficit hídrico (41,21 cm). Referente a la especie de portainjerto, limón mandarino fue significativamente mayor (52,72 cm) al resto de portainjertos y hubo diferencias estadísticamente significativas entre todos ellos (Tabla 1).

Tabla 1. Altura (cm) en función del tipo de estrés y especie de portainjerto.

Tipo de estrés	Altura	
Condiciones óptimas	48,58	**a**
Exceso hídrico	44,70	**a b**
Salino	43,58	**a b**
Déficit hídrico	41,21	**b**
Especie de portainjerto	**Altura**	
Limón mandarino	52,72	**a**
Naranjo agrio	46,41	**b**
Mandarino 'Cleopatra'	34,43	**c**

*Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ($p<0,05$)

4.1.1.1. Incremento de altura.

No se encontró diferencia para la interacción entre los factores: tipo de estrés y especie de portainjerto (Anexo 2, Figura 39). El incremento de altura respondió significativamente al tipo de estrés y especie de portainjerto de manera independiente. La Figura 3 muestra que déficit hídrico presentó una media menor (5,27 cm) al resto de tipos de estrés.

Referente a la especie de portainjerto: limón mandarino tuvo la media superior (10,93 cm) y fue significativamente mayor a naranjo agrio con 7,65 cm (Figura 4).

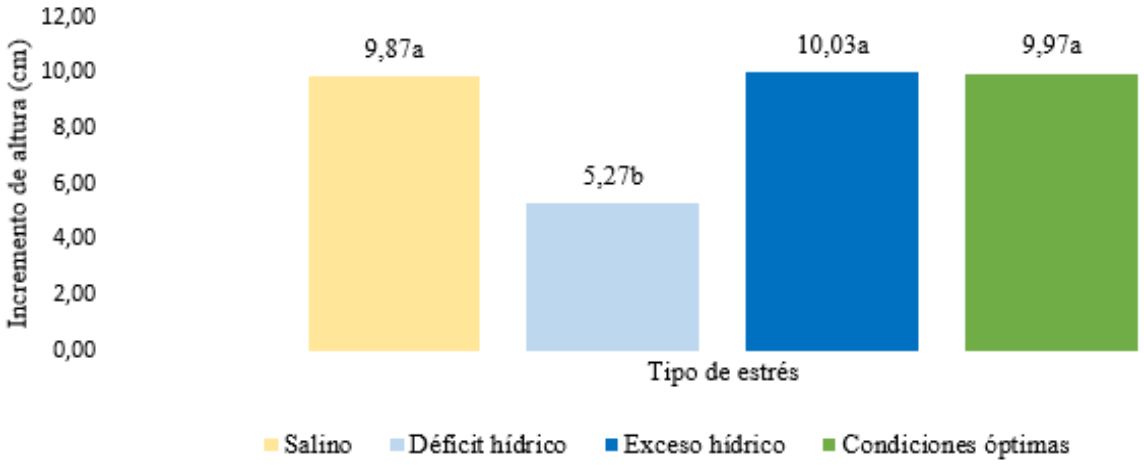


Figura 3. Incremento de altura en función del tipo de estrés
*Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey (p<0,05)

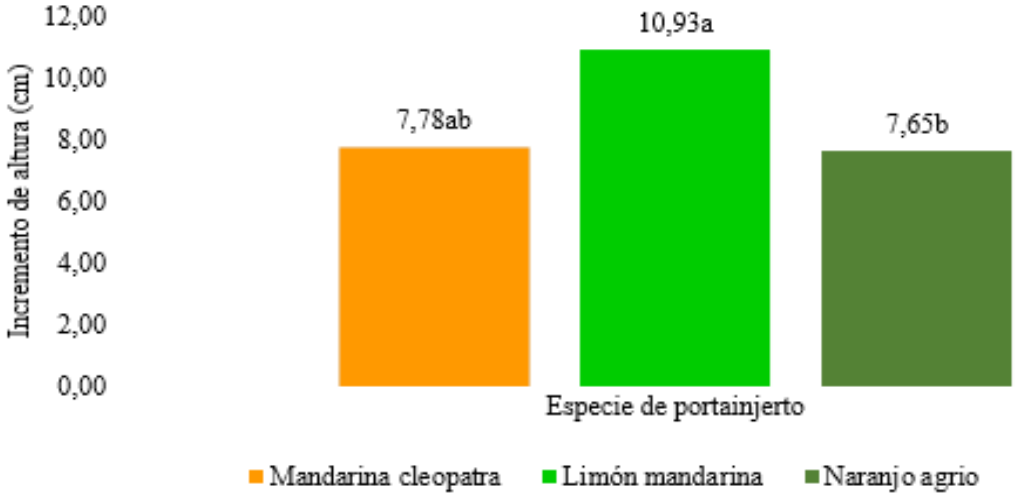


Figura 4. Incremento de altura en función de la especie de portainjerto
*Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey (p<0,05)

4.1.1.2. Tasa de crecimiento absoluto (TCA) de altura.

No se encontró diferencia para la interacción entre los factores: tipo de estrés y especie de portainjerto (Anexo 2, Figura 40). El tipo de estrés y especie de portainjerto influyeron sobre la variable TCA de altura de manera independiente. Déficit hídrico presentó la media inferior (0,06 cm dia^{-1}) y manifiesta diferencia estadística significativa con los demás tipos de estrés (Fig. 5).

En la Figura 6 se aprecia que 'limón mandarino' tuvo el valor superior con 0,12 cm dia^{-1} y exhibió diferencia estadística significativa con naranjo agrio que alcanzó 0,09 cm dia^{-1}.

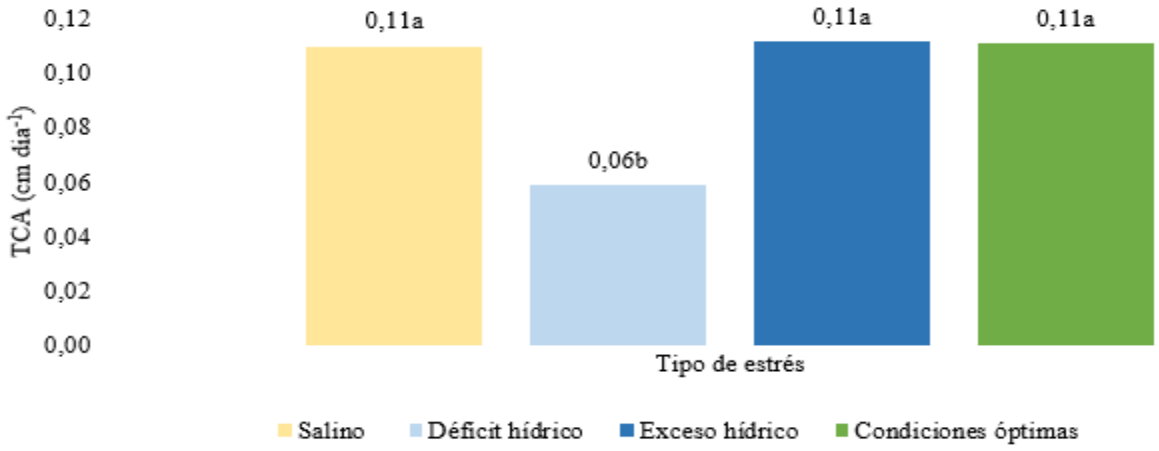


Figura 5. TCA de altura en función del tipo de estrés
*Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey (p<0,05)

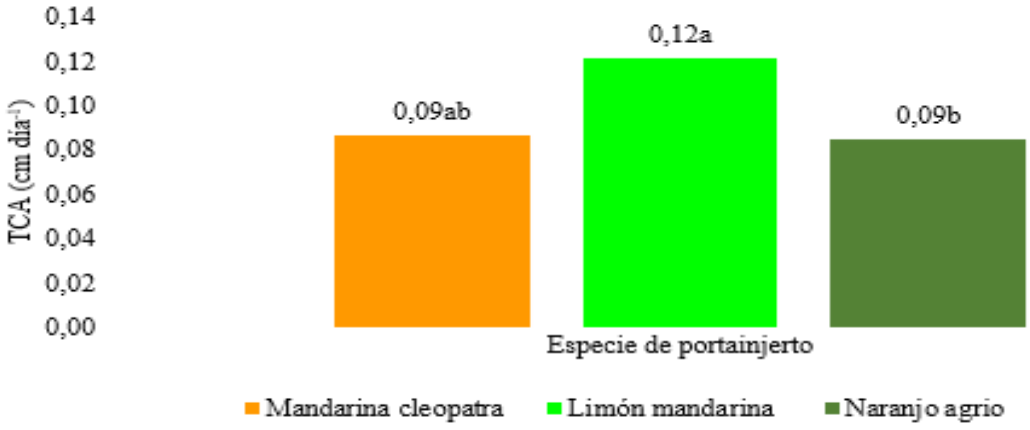


Figura 6. TCA de altura en función de la especie de portainjerto
*Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey (p<0,05)

4.1.1.3. Tasa de crecimiento relativo (TCR) de altura.

No se encontró diferencia para la interacción entre los factores: tipo de estrés y especie de portainjerto (Anexo 2, Figura 41). La TCR de altura solo mostró diferencia estadísticamente significativa con el tipo de estrés: se aprecia en la Figura 7 que déficit hídrico tuvo la media significativamente inferior (0,0016 cm cm día^{-1}) a los demás tipos de estrés.

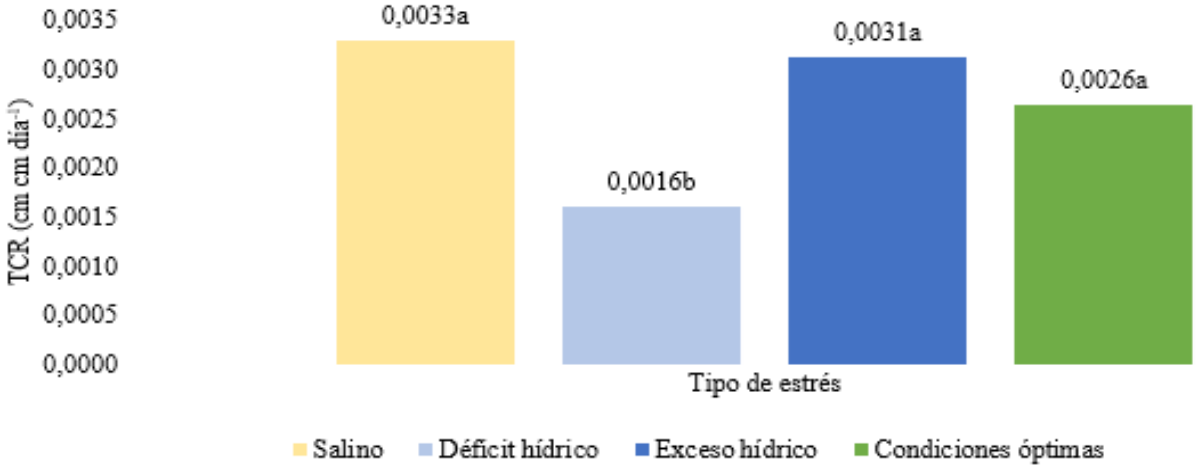


Figura 7. TCR de altura en función del tipo de estrés
*Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, DGC (Alfa <0,05)

4.1.2. Número de hojas

No se encontró diferencia para la interacción entre los factores: tipo de estrés y especie de portainjerto (Anexo 2, Figura 42). La especie de portainjerto influyó significativamente sobre la variable número de hojas, observándose que limón mandarino y naranja agria tuvieron significativamente mayor número de hojas (37,49 y 32,56 hojas en promedio, respectivamente) que mandarino 'Cleopatra' (Tabla 2).

Tabla 2. Número de hojas en función de la especie de portainjerto.

Especie de portainjerto	Número de hojas	
Limón mandarino	37,49	**a**
Naranjo agrio	32,56	**a**
Mandarino 'Cleopatra'	20,62	**b**

*Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ($p<0,05$)

4.1.2.1. Incremento de número de hojas.

No se encontró diferencia para la interacción entre los factores: tipo de estrés y especie de portainjerto (Anexo 2, Figura 43). El incremento de número de hojas respondió significativamente tanto al estrés como a la especie de portainjerto: condiciones óptimas mostró la media significativamente mayor (56,33 hojas) en relación a los demás tipos de estrés (Figura 8).

Concerniente a las especies de portainjertos: limón mandarino y naranjo agrio exhibieron las medias significativamente superiores (57,05 y 45,4 hojas en promedio, respectivamente) en relación a mandarino 'Cleopatra' (Figura 9).

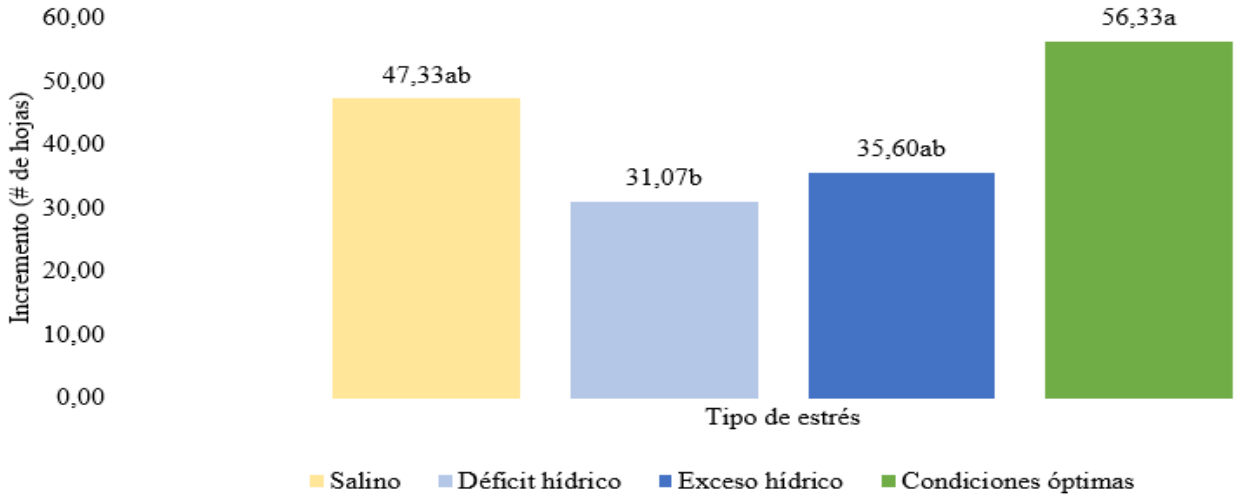


Figura 8. Incremento del número de hojas en función del tipo de estrés
*Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey (p<0,05)

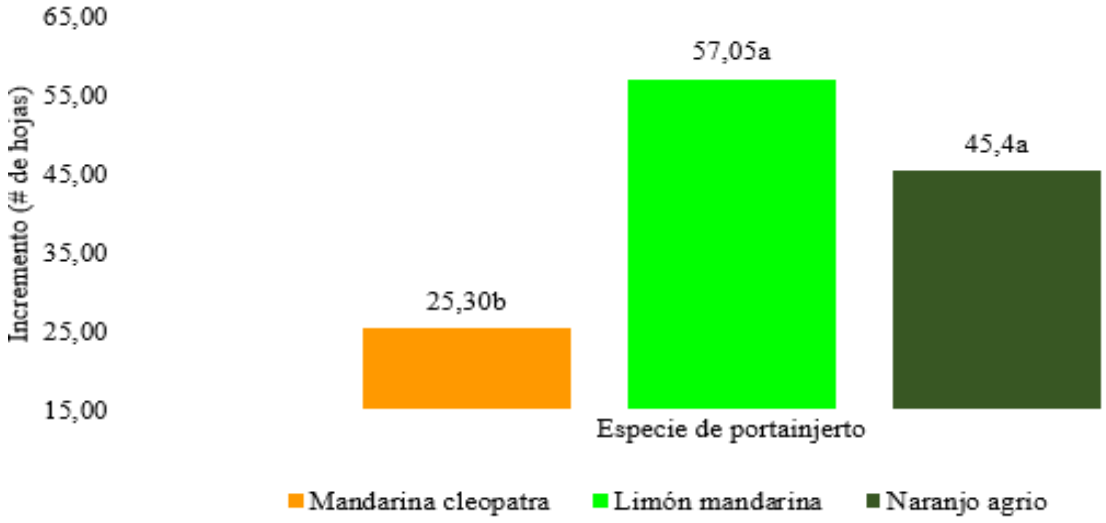


Figura 9. Incremento del número de hojas en función de la especie de portainjerto
*Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey (p<0,05)

4.1.2.2. Tasa de crecimiento absoluto (TCA) de número de hojas.

No se encontró diferencia para la interacción entre los factores: tipo de estrés y especie de portainjerto (Anexo 2, Figura 44). El tipo de estrés y especie de portainjerto mostraron respuestas significativas a la variable TCA número de hojas: en la Figura 10 se aprecia que déficit hídrico presentó la media inferior (0,35 hojas día^{-1}) y manifiesta diferencia estadísticamente significativa frente a condiciones óptimas, que presentó la media más alta (0,63 de hojas día^{-1})

Referente a especie de portainjerto, en la Figura 11 se exhibe que: limón mandarino tuvo influencia significativamente mayor que mandarino 'Cleopatra', cuya media fue la inferior (0,28 hojas día^{-1}) de todas las especies de portainjertos.

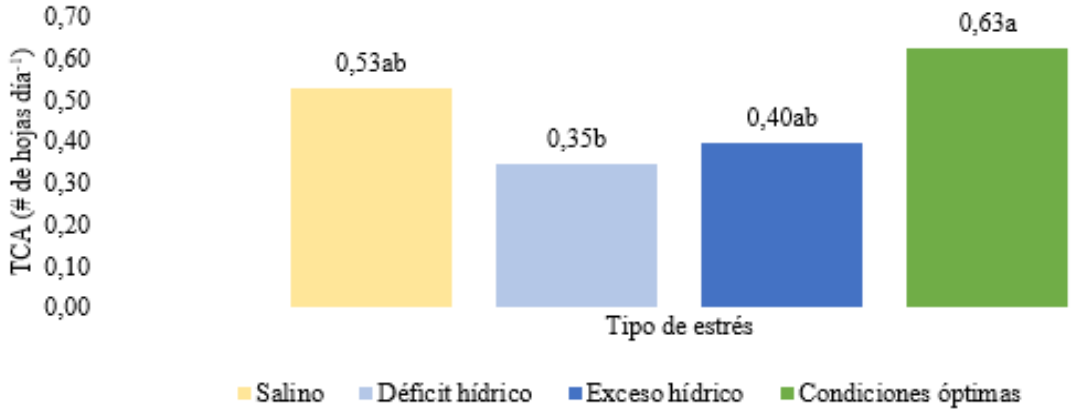


Figura 10. TCA del número de hojas día^{-1} en función del tipo de estrés
*Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey (p<0,05)

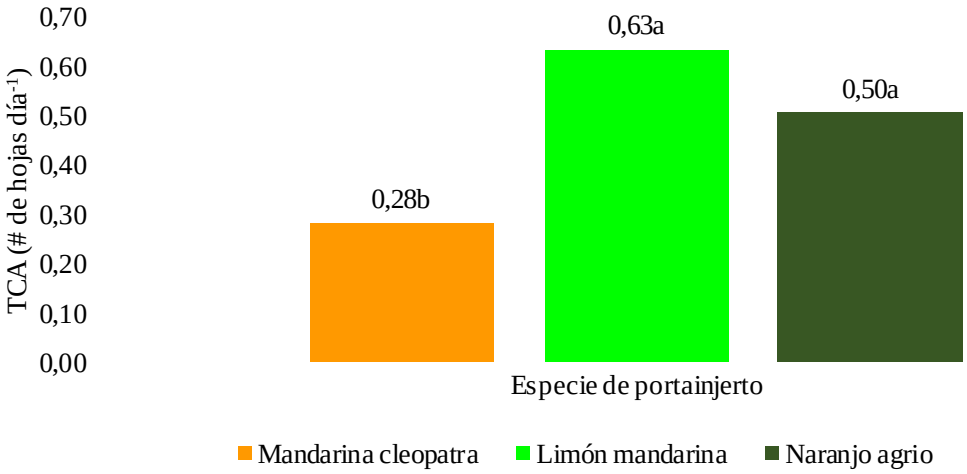


Figura 11. TCA del número de hojas día^{-1} en función de la especie de portainjerto
*Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey (p<0,05)

4.1.2.3. Tasa de crecimiento relativo (TCR) # de hojas.

No se encontró diferencia para la interacción entre los factores: tipo de estrés y especie de portainjerto (Anexo 2, Figura 45). La TCR número de hojas, tuvo relación significativa con tipo de estrés: condiciones óptimas tuvo la media superior (0,044 # de hojas # de hojas día^{-1}) y exhibió diferencia estadísticamente significativa con déficit hídrico (Tabla 12).

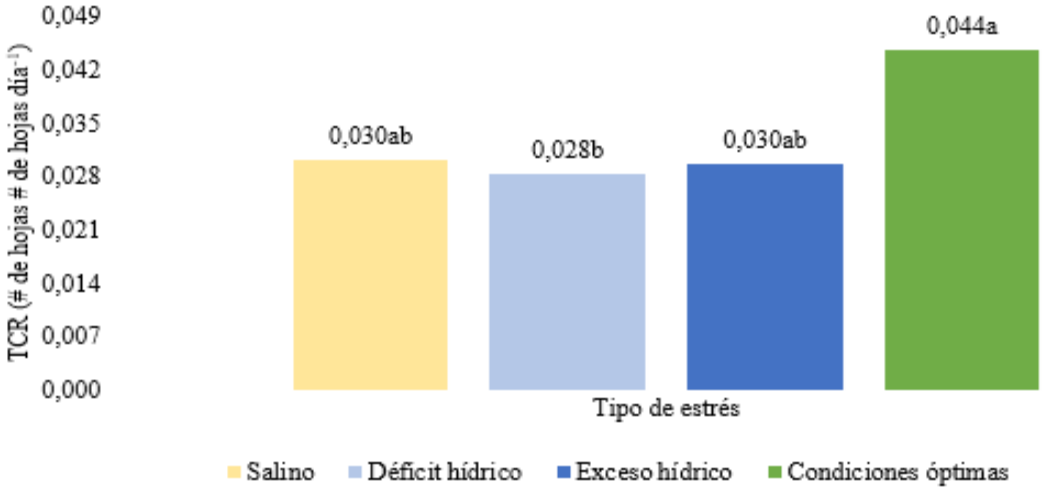


Figura 12. TCR del número de hojas día-1 en función del tipo de estrés
*Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas, Tukey ($p<0,05$)

4.1.3. Número de ramificaciones (# de ramificaciones)

No se encontró diferencia para la interacción entre los factores: tipo de estrés y especie de portainjerto (Anexo 2, Figura 46). El tipo de estrés y especie de portainjerto influyeron de manera independiente sobre la variable número de ramificaciones: la situación de condiciones óptimas presentó la media más alta (9,07 ramificaciones) y fue significativamente superior a exceso hídrico, cuya media fue de 6,13 ramificaciones. En relación a la especie de portainjertos: limón mandarino y naranjo agrio fueron significativamente mayores que mandarino 'Cleopatra' según sus medias (37,49, 32,56 y 20,62 ramificaciones, respectivamente) (Tabla 3).

Tabla 3. Número de ramificaciones en función del tipo de estrés y especie de portainjerto.

Tipo de estrés	Número de ramificaciones	
Condiciones óptimas	9,07	**a**
Salino	7,80	**a b**
Déficit hídrico	7,27	**a b**
Exceso hídrico	6,13	**b**
Especie de portainjerto	**Número de ramificaciones**	
Naranjo agrio	9,20	**a**
Limón mandarino	8,25	**a**
Mandarino 'Cleopatra'	5,25	**b**

* Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ($p<0,05$)

4.1.4. Área foliar

Para los cálculos de área foliar, se empleó una medida alométrica con base en un análisis de regresión lineal y se usaron los datos de ancho, largo y área foliar de 25 hojas escogidas al azar; se probaron modelos diferentes regresivos y el que mejor ajuste dio fue el que consideró el ancho de la lámina foliar, con un R^2 de 0,9939 (Figura 13).

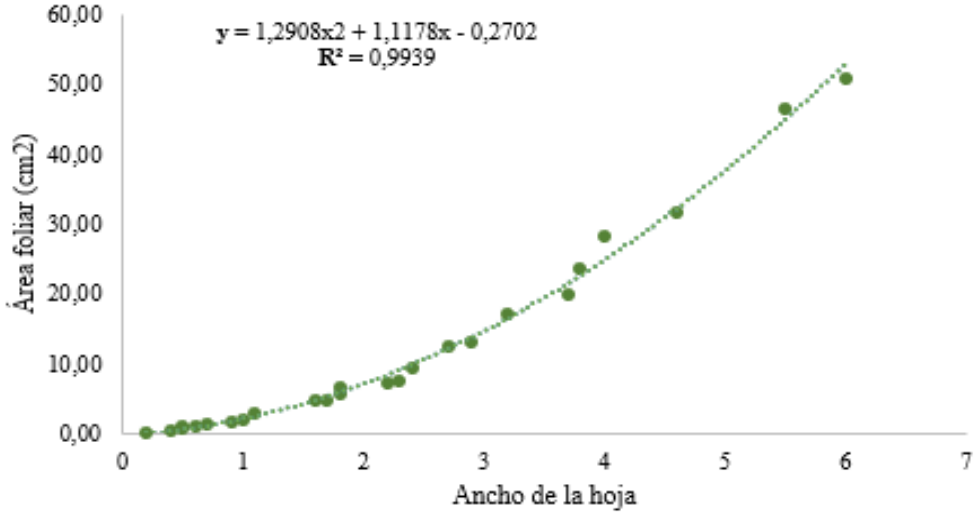


Figura 13. Ecuación de regresión de área foliar en función del ancho de la hoja

No se encontró diferencia para la interacción entre los factores: tipo de estrés y especie de portainjerto (Anexo 2, Figura 47). Se determinó la correspondencia del área foliar con la especie de portainjerto como se muestra en la Tabla 4; limón mandarino con la media superior (783, 31 cm^2) presentó diferencia estadística significativa con mandarino 'Cleopatra', cuya media es 383,82 cm^2.

Tabla 4. Área foliar en función de la especie de portainjerto.

Especie de portainjerto	Área foliar (cm^2)	
Limón mandarino	783,31	**a**
Naranjo agrio	775,09	**a**
Mandarino 'Cleopatra'	383,82	**b**

* Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas, Tukey ($p<0,05$)

4.1.5. Densidad estomática (número de estomas por mm^{-2})

Hubo interacción de la densidad estomática con los tratamientos (Anexo 2, Figura 48), es así, que los tratamientos: T5, T8, T10, T6, T1, T2 Y T11 fueron significativamente mayores al resto de tratamientos (Tabla 5).

Tabla 5. Densidad estomática en función del tipo de tratamiento.

Tipo de estrés	Especie de portainjerto	Tratamiento	Densidad estomática	
Déficit hídrico	Limón mandarino	T5	875,23	**a**
Exceso hídrico	Limón mandarino	T8	864,96	**a**
Condiciones óptimas	Mandarino 'Cleopatra'	T10	836,89	**a**
Déficit hídrico	Naranjo agrio	T6	731,97	**a**
Salino	Mandarino 'Cleopatra'	T1	783,29	**a**
Salino	Limón mandarino	T2	770,37	**a**
Condiciones óptimas	Limón mandarino	T11	764,46	**a**
Salino	Naranjo agrio	T3	664,51	**b**
Exceso hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T7	648,50	**b**
Condiciones óptimas	Naranjo agrio	T12	630,05	**b**
Déficit hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T4	623,96	**b**
Exceso hídrico	Naranjo agrio	T9	583,90	**b**

* Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas, DGC (Alfa <0,05)

4.1.6. Diámetro de tallo

No se encontró diferencia para la interacción entre los factores: tipo de estrés y especie de portainjerto (Anexo 2, Figura 49). La especie de portainjerto influyó significativamente sobre la variable diámetro de tallo, se observó que limón mandarino y naranjo agrio tuvieron medias significativamente mayores (7,83 y 7,38 mm, respectivamente) comparadas con la de mandarino 'Cleopatra' (5,39 mm) (Tabla 6).

Tabla 6. Diámetro de tallo en función de la especie de portainjerto.

Especie de portainjerto	Diámetro de tallo	
Limón mandarino	7,83	**a**
Naranjo agrio	7,38	**a**
Mandarino 'Cleopatra'	5,39	**b**

* Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas, Tukey (p valor<0,05)

4.1.6.1. Incremento diámetro de tallo.

No se encontró diferencia para la interacción entre los factores: tipo de estrés y especie de portainjerto (Anexo 2, Figura 50), ni de manera individual (Tabla. 7).

Tabla 7. Incremento diámetro de tallo en función del tratamiento.

Tipo de estrés	Especie de portainjerto	Tratamiento	Δ Diámetro de tallo
Salino	Mandarino 'Cleopatra'	T1	0,9 **ns**
Salino	Limón mandarino	T2	1,8 **ns**
Salino	Naranjo agrio	T3	1,1 **ns**
Déficit hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T4	1,1 **ns**
Déficit hídrico	Limón mandarino	T5	0,9 **ns**
Déficit hídrico	Naranjo agrio	T6	0,2 **ns**
Exceso hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T7	0,9 **ns**
Exceso hídrico	Limón mandarino	T8	1,3 **ns**
Exceso hídrico	Naranjo agrio	T9	1,5 **ns**
Condiciones óptimas	Mandarino 'Cleopatra'	T10	0,9 **ns**
Condiciones óptimas	Limón mandarino	T11	0,9 **ns**
Condiciones óptimas	Naranjo agrio	T12	1,1 **ns**

**ns: no significativo*

4.1.6.2. Tasa de crecimiento absoluto (TCA) diámetro de tallo.

No se encontró diferencia para la interacción entre los factores: tipo de estrés y especie de portainjerto (Anexo 2, Figura 51), ni de manera individual (Tabla 8).

Tabla 8. TCA diámetro de tallo en función del tratamiento.

Tipo de estrés	Especie de portainjerto	Tratamiento	TCA diámetro de tallo
Salino	Mandarino 'Cleopatra'	T1	0,01 **ns**
Salino	Limón mandarino	T2	0,02 **ns**
Salino	Naranjo agrio	T3	0,01 **ns**
Déficit hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T4	0,01 **ns**
Déficit hídrico	Limón mandarino	T5	0,01 **ns**
Déficit hídrico	Naranjo agrio	T6	0,003 **ns**
Exceso hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T7	0,01 **ns**
Exceso hídrico	Limón mandarino	T8	0,01 **ns**
Exceso hídrico	Naranjo agrio	T9	0,02 **ns**
Condiciones óptimas	Mandarino 'Cleopatra'	T10	0,01 **ns**
Condiciones óptimas	Limón mandarino	T11	0,01 **ns**
Condiciones óptimas	Naranjo agrio	T12	0,01 **ns**

*ns: no significativo

4.1.6.3. Tasa de crecimiento relativo (TCR) diámetro de tallo.

No se encontró diferencia para la interacción entre los factores: tipo de estrés y especie de portainjerto (Anexo 2, Figura 52), ni de manera individual (Tabla 9).

Tabla 9. TCR diámetro de tallo en función del tratamiento.

Tipo de estrés	Especie de portainjerto	Tratamiento	TCR diámetro de tallo
Salino	Mandarino 'Cleopatra'	T1	0,0027 **ns**
Salino	Limón mandarino	T2	0,0033 **ns**
Salino	Naranjo agrio	T3	0,0019 **ns**
Déficit hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T4	0,0026 **ns**
Déficit hídrico	Limón mandarino	T5	0,0014 **ns**
Déficit hídrico	Naranjo agrio	T6	0,0002 **ns**
Exceso hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T7	0,0020 **ns**
Exceso hídrico	Limón mandarino	T8	0,0020 **ns**
Exceso hídrico	Naranjo agrio	T9	0,0030 **ns**
Condiciones óptimas	Mandarino 'Cleopatra'	T10	0,0020 **ns**
Condiciones óptimas	Limón mandarino	T11	0,0014 **ns**
Condiciones óptimas	Naranjo agrio	T12	0,0018 **ns**

*ns: no significativo

4.1.7. Diámetro de copa

La Tabla 10 muestra la relación que existió entre la interacción de los factores (tratamientos) y la variable diámetro de copa (Anexo 2, Figura 53), se observa que los tratamientos: T11, T2, T8, T9, T3, y T12 (medias entre 33, 10 a 43, 10 cm) fueron significativamente mayores que los tratamientos: T6, T5, T7, T4, T1 Y T10 (medias entre 20,90 a 28,10 cm).

Tabla 10. Diámetro de copa en función del tratamiento.

Tipo de estrés	Especie de portainjerto	Tratamiento	Diámetro de copa	
Condiciones óptimas	Limón mandarino	T11	43,10	**a**
Salino	Limón mandarino	T2	40,40	**a**
Exceso hídrico	Limón mandarino	T8	38,80	**a**
Exceso hídrico	Naranjo agrio	T9	34,80	**a**
Salino	Naranjo agrio	T3	34,10	**a**
Condiciones óptimas	Naranjo agrio	T12	33,10	**a**
Déficit hídrico	Naranjo agrio	T6	28,10	**b**
Déficit hídrico	Limón mandarino	T5	27,50	**b**
Exceso hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T7	25,70	**b**
Déficit hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T4	24,30	**b**
Salino	Mandarino 'Cleopatra'	T1	24,20	**b**
Condiciones óptimas	Mandarino 'Cleopatra'	T10	20,90	**b**

* Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas, DGC (Alfa <0,05)

4.1.8. Volumen de copa

La Tabla 11 muestra la relación que existió entre la interacción de los factores (tratamientos) y la variable volumen de copa (Anexo 2, Figura 54), se observa que los tratamientos: T11 y T2 presentan las medias significativamente superiores que el resto de tratamientos.

Tabla 11. Volumen de copa en función del tratamiento.

Tipo de estrés	Especie de portainjerto	Tratamiento	Volumen de copa	
Condiciones óptimas	Limón mandarino	T11	65526,25	**a**
Salino	Limón mandarino	T2	53001,50	**a**
Exceso hídrico	Limón mandarino	T8	38728,93	**b**
Exceso hídrico	Naranjo agrio	T9	34027,29	**b**
Salino	Naranjo agrio	T3	33473,87	**b**
Condiciones óptimas	Naranjo agrio	T12	31357,35	**b**
Déficit hídrico	Naranjo agrio	T6	19532,30	**c**
Exceso hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T7	17533,61	**c**
Déficit hídrico	Limón mandarino	T5	15625,53	**c**
Salino	Mandarino 'Cleopatra'	T1	12642,99	**c**
Condiciones óptimas	Mandarino 'Cleopatra'	T10	10579,44	**c**
Déficit hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T4	10298,68	**c**

* Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas, DGC (Alfa <0,05)

4.1.9. Peso seco aéreo

Los tratamientos T8 y T11 (Exceso hídrico + limón mandarino y condiciones óptimas + limón mandarino) presentaron los valores mayores (17.85 y 19,85 g), mostrando diferencias estadísticamente significativas con T5 (déficit hídrico + limón mandarino) que presentó 9,55 g (Tabla 12).

Tabla 12. Resultados de la prueba no paramétrica de Friedman de la variable peso seco aéreo en función de los tratamientos.

Tipo de estrés	Especie de portainjerto	Tratamiento	Peso seco aéreo	
Exceso hídrico	Limón mandarino	T8	17,85	**a**
Condiciones óptimas	Limón mandarino	T11	19,85	**a**
Salino	Mandarino 'Cleopatra'	T1	11,25	**a b**
Condiciones óptimas	Naranjo agrio	T12	27,50	**a b**
Déficit hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T4	7,80	**a b**
Déficit hídrico	Naranjo agrio	T6	10,60	**a b**
Exceso hídrico	Naranjo agrio	T9	16,00	**a b**
Salino	Naranjo agrio	T3	15,60	**a b**
Salino	Limón mandarino	T2	15,65	**a b**
Exceso hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T7	10,35	**a b**
Condiciones óptimas	Mandarino 'Cleopatra'	T10	7,95	**a b**
Déficit hídrico	Limón mandarino	T5	9,55	**b**

* Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas (p valor<0,05)

4.1.10. Peso seco radicular

El tratamiento T8 (Exceso hídrico + limón mandarino) presentó la media superior (15,80 g) y fue significativamente mayor a los tratamientos T1, T2, T5, T10 Y T4 (Tabla 13).

Tabla 13. Resultados de la prueba no paramétrica de Friedman, de la variable peso seco radicular en función de los tratamientos.

Tipo de estrés	Especie de portainjerto	Tratamiento	Peso seco radicular	
Exceso hídrico	Limón mandarino	T8	15,80	**a**
Condiciones óptimas	Naranjo agrio	T12	14,90	**a b**
Condiciones óptimas	Limón mandarino	T11	12,00	**a b c**
Salino	Naranjo agrio	T3	8,20	**a b c d e f**
Déficit hídrico	Naranjo agrio	T6	7,10	**a b c d e f**
Exceso hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T7	6,30	**a b c d e f**
Exceso hídrico	Naranjo agrio	T9	7,15	**a b c d e f**
Salino	Mandarino 'Cleopatra'	T1	6,85	**b c d e f**
Salino	Limón mandarino	T2	7,30	**c d e f**
Déficit hídrico	Limón mandarino	T5	5,60	**d e f**
Condiciones óptimas	Mandarino 'Cleopatra'	T10	4,25	**e f**
Déficit hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T4	4,05	**f**

* Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas (p valor<0,05)

4.1.11. Peso seco total

Al relacionar el peso seco total con los tratamientos, se observó que el tratamiento T12 (condiciones óptimas + naranjo agrio) presentó el peso superior (42,40 gramos) pero solo mostró diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos T5, T4, T3, T2 y T1 (Tabla 14).

Tabla 14. Resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis de la variable peso total en función de los tratamientos.

Tipo de estrés	Especie de portainjerto	Tratamiento	Peso seco total	
Condiciones óptimas	Naranjo agrio	T12	42,40	**a**
Condiciones óptimas	Limón mandarino	T11	31,85	**a b**
Condiciones óptimas	Mandarino 'Cleopatra'	T10	12,20	**a b c**
Exceso hídrico	Naranjo agrio	T9	23,15	**a b c d e f**
Exceso hídrico	Limón mandarino	T8	33,65	**a b c d e f**
Exceso hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T7	16,65	**a b c d e f**
Déficit hídrico	Naranjo agrio	T6	17,70	**a b c d e f**
Déficit hídrico	Limón mandarino	T5	15,15	**b c d e f**
Déficit hídrico	Mandarino 'Cleopatra'	T4	11,85	**c d e f**
Salino	Naranjo agrio	T3	23,80	**d e f**
Salino	Limón mandarino	T2	22,95	**e f**
Salino	Mandarino 'Cleopatra'	T1	18,10	**f**

* Letras diferentes verticalmente indican diferencias estadísticas significativas (p valor<0,05)

4.2. Correlaciones

Correlaciones positivas y negativas resultantes de las variables evaluadas (Tabla 15).

Las múltiples figuras (Figuras: 16 a 26) expuestas en este apartado muestran gráficamente las correlaciones positivas fuertes (n Pearson > 0,70).

Tabla 15. Resultado del análisis de correlación de Pearson entre las variables evaluadas.

Variable 1	Variable 2	n Pearson	p-valor	Interpretación
Altura	# de hojas	0,50	<0,0119	Correlación positiva
Altura	# de ramificaciones	0,41	0,0476	Correlación positiva
Altura	Área foliar	0,64	0,0008	Correlación positiva
Altura	Densidad estomática	0,07	0,7517	Correlación positiva
Altura	Diámetro de tallo	0,71	0,0001	Correlación positiva
Altura	Diámetro de copa	0,80	<0,0001	Correlación positiva
Altura	Volumen de copa	0,82	<0,0001	Correlación positiva
Altura	Peso seco aéreo	0,65	0,0006	Correlación positiva
Altura	Peso seco radicular	0,63	0,0009	Correlación positiva
Altura	Peso seco total	0,67	0,0004	Correlación positiva
# de hojas	# de ramificaciones	0,57	0,0039	Correlación positiva
# de hojas	Área foliar	0,64	0,0009	Correlación positiva
# de hojas	Densidad estomática	-0,37	0,0769	Correlación negativa
# de hojas	Diámetro de tallo	0,38	0,0690	Correlación positiva
# de hojas	Diámetro de copa	0,52	0,0097	Correlación positiva
# de hojas	Volumen de copa	0,44	0,0294	Correlación positiva
# de hojas	Peso seco aéreo	0,58	0,0031	Correlación positiva
# de hojas	Peso seco radicular	0,49	0,0156	Correlación positiva
# de hojas	Peso seco total	0,56	0,0043	Correlación positiva
# de ramificaciones	Área foliar	0,40	0,0538	Correlación positiva
# de ramificaciones	Densidad estomática	-0,13	0,5299	Correlación negativa
# de ramificaciones	Diámetro de tallo	0,24	0,2648	Correlación positiva
# de ramificaciones	Diámetro de copa	0,16	0,4414	Correlación positiva
# de ramificaciones	Volumen de copa	0,17	0,4293	Correlación positiva
# de ramificaciones	Peso seco aéreo	0,53	0,0071	Correlación positiva
# de ramificaciones	Peso seco radicular	0,32	0,1282	Correlación positiva
# de ramificaciones	Peso seco total	0,46	0,0225	Correlación positiva
Área foliar	Densidad estomática	-0,20	0,3455	Correlación negativa
Área foliar	Diámetro de tallo	0,40	0,0523	Correlación positiva
Área foliar	Diámetro de copa	0.84	<0,0001	Correlación positiva
Área foliar	Volumen de copa	0,78	<0,0001	Correlación positiva
Área foliar	Peso seco aéreo	0,87	<0,0001	Correlación positiva
Área foliar	Peso seco radicular	0,70	0,0002	Correlación positiva
Área foliar	Peso seco total	0,83	<0,0001	Correlación positiva
Densidad estomática	Diámetro de tallo	0,17	0,4280	Correlación positiva
Densidad estomática	Diámetro de copa	-0,08	0,7200	Correlación negativa

Densidad estomática	Volumen de copa	-0,01	0,9457	Correlación negativa
Densidad estomática	Peso seco aéreo	-0,19	0,3696	Correlación negativa
Densidad estomática	Peso seco radicular	-0,05	0,8116	Correlación negativa
Densidad estomática	Peso seco total	-0,14	0,5158	Correlación negativa
Diámetro de tallo	Diámetro de copa	0,52	0,0090	Correlación positiva
Diámetro de tallo	Volumen de copa	0,50	0,0124	Correlación positiva
Diámetro de tallo	Peso seco aéreo	0,49	0,0153	Correlación positiva
Diámetro de tallo	Peso seco radicular	0,62	0,0012	Correlación positiva
Diámetro de tallo	Peso seco total	0,56	0,0041	Correlación positiva
Diámetro de copa	Volumen de copa	0,97	<0,0001	Correlación positiva
Diámetro de copa	Peso seco aéreo	0,66	0,0005	Correlación positiva
Diámetro de copa	Peso seco radicular	0,65	0,0006	Correlación positiva
Diámetro de copa	Peso seco total	0,68	0,0003	Correlación positiva
Volumen de copa	Peso seco aéreo	0,63	0,0010	Correlación positiva
Volumen de copa	Peso seco radicular	0,65	0,0005	Correlación positiva
Volumen de copa	Peso seco total	0,66	0,0004	Correlación positiva
Peso seco aéreo	Peso seco radicular	0,85	<0,0001	Correlación positiva
Peso seco aéreo	Peso seco total	0,97	<0,0001	Correlación positiva
Peso seco radicular	Peso seco total	0,95	<0,0001	Correlación positiva

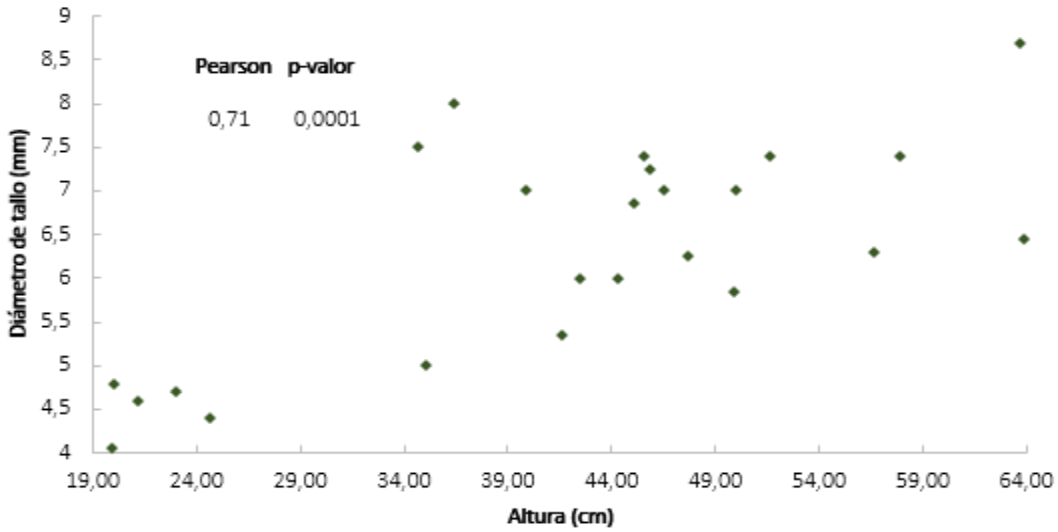


Figura 14. Correlación entre altura y diámetro de tallo

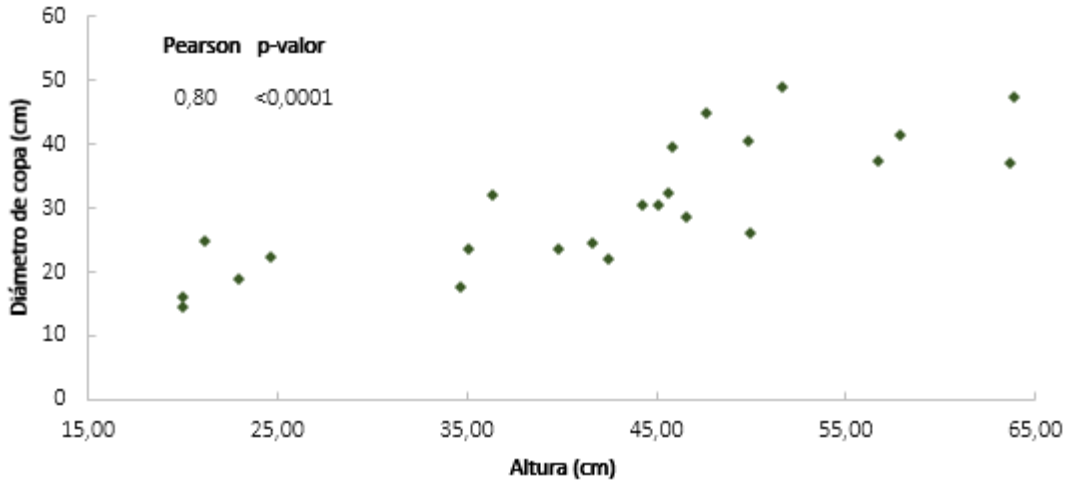


Figura 15. Correlación entre altura y diámetro de copa

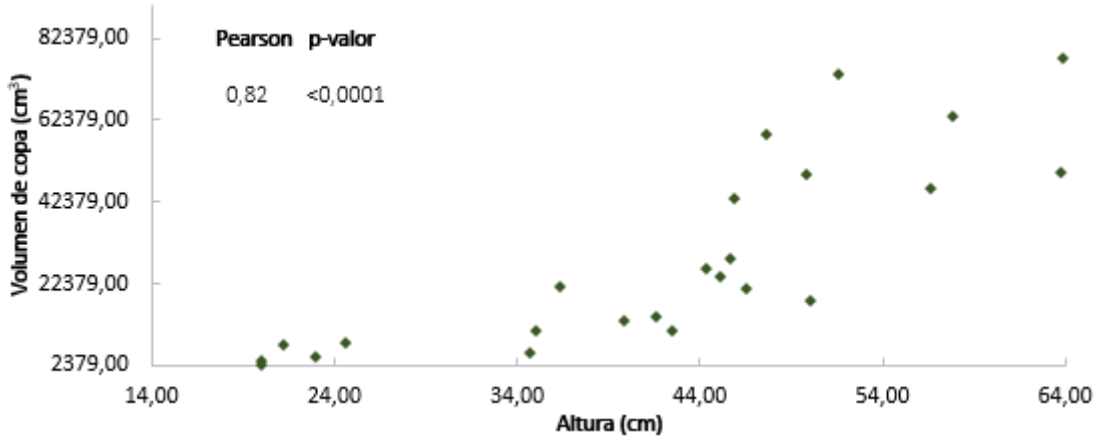


Figura 16. Correlación entre altura y volumen de copa

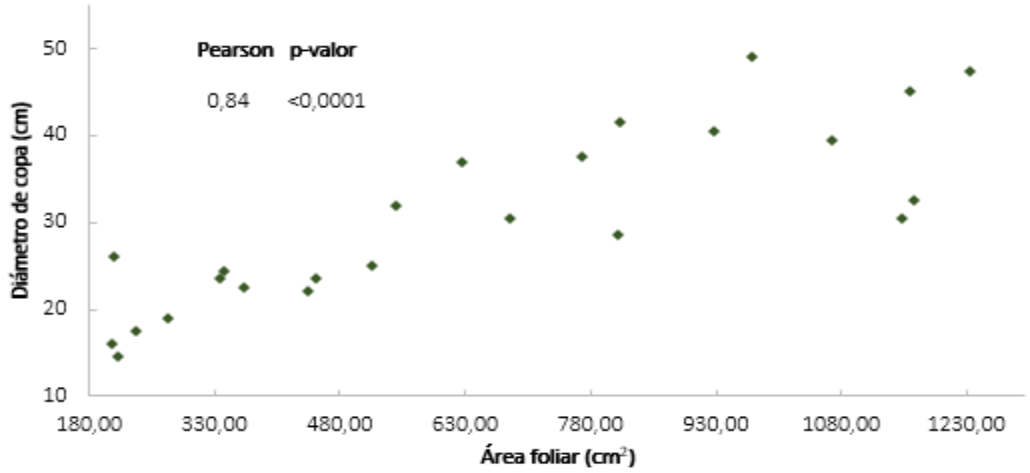


Figura 17. Correlación entre área foliar y diámetro de copa

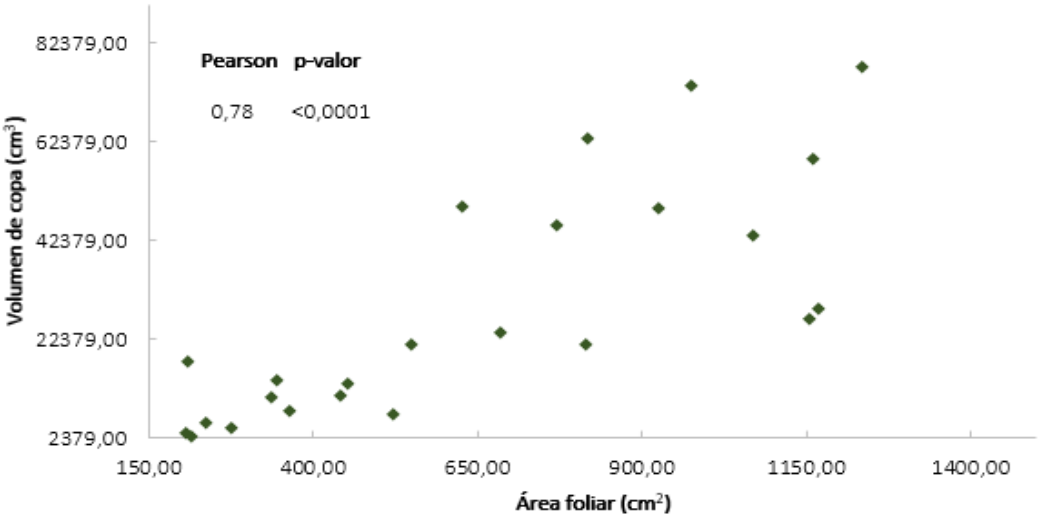


Figura 18. Correlación entre área foliar y volumen de copa

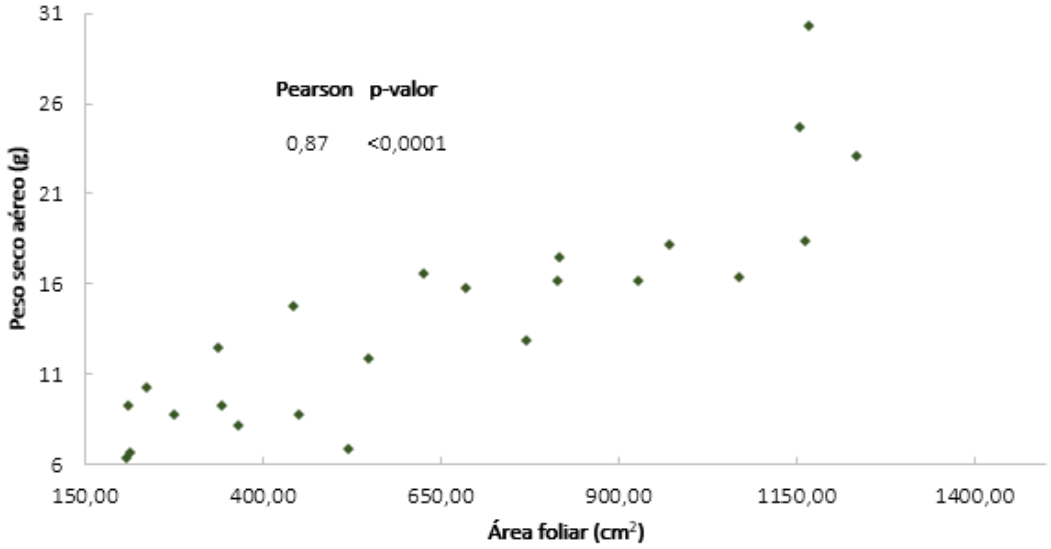


Figura 19. Correlación entre área foliar y peso seco aéreo

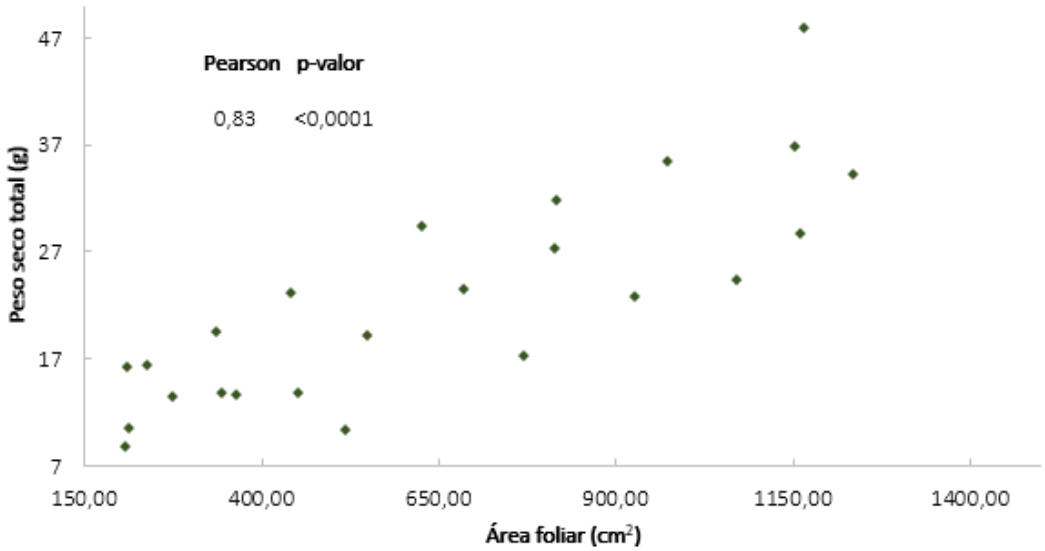


Figura 20. Correlación entre área foliar y peso seco aéreo

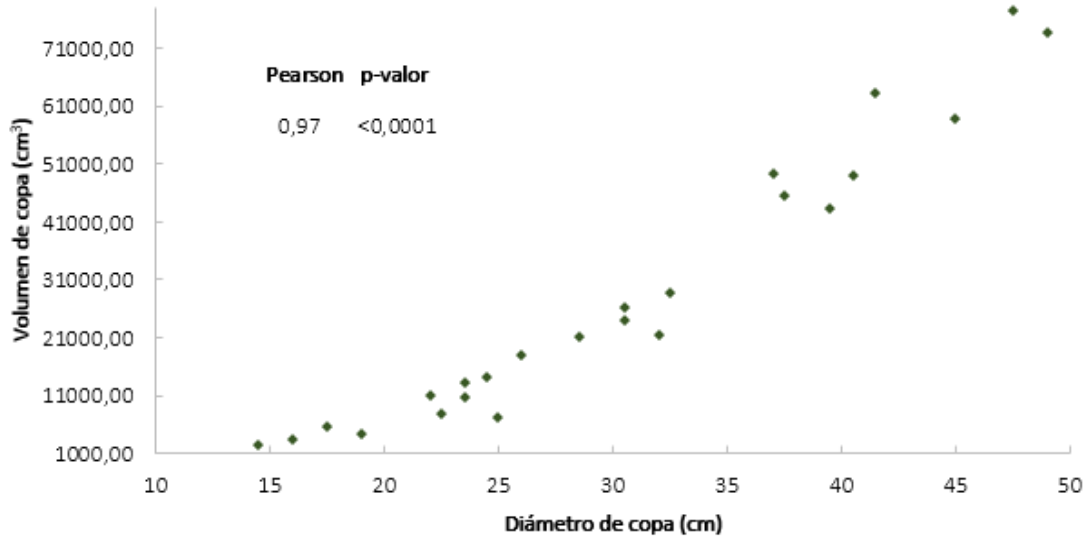


Figura 21. Correlación entre diámetro de copa y volumen de copa

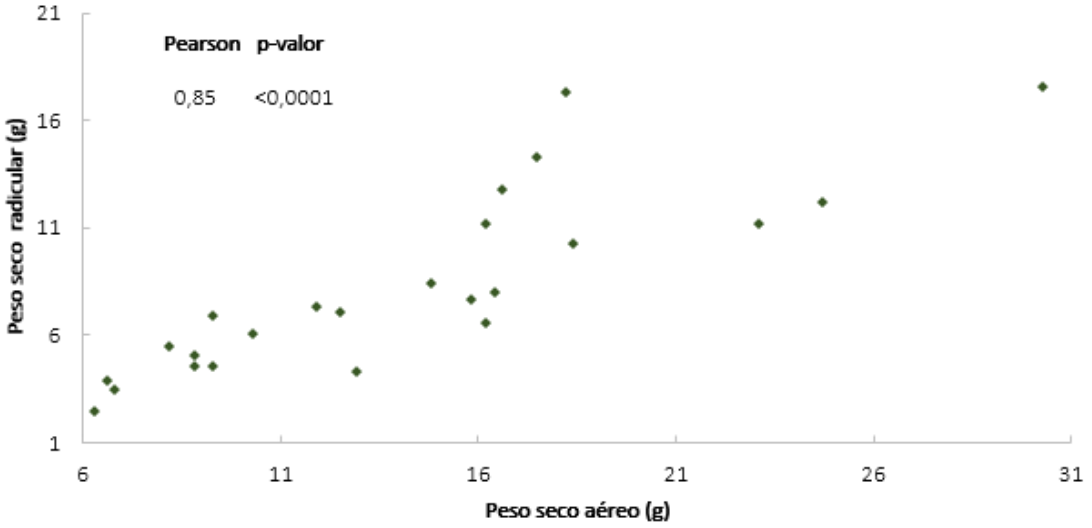


Figura 22. Correlación entre peso seco aéreo y peso seco radicular

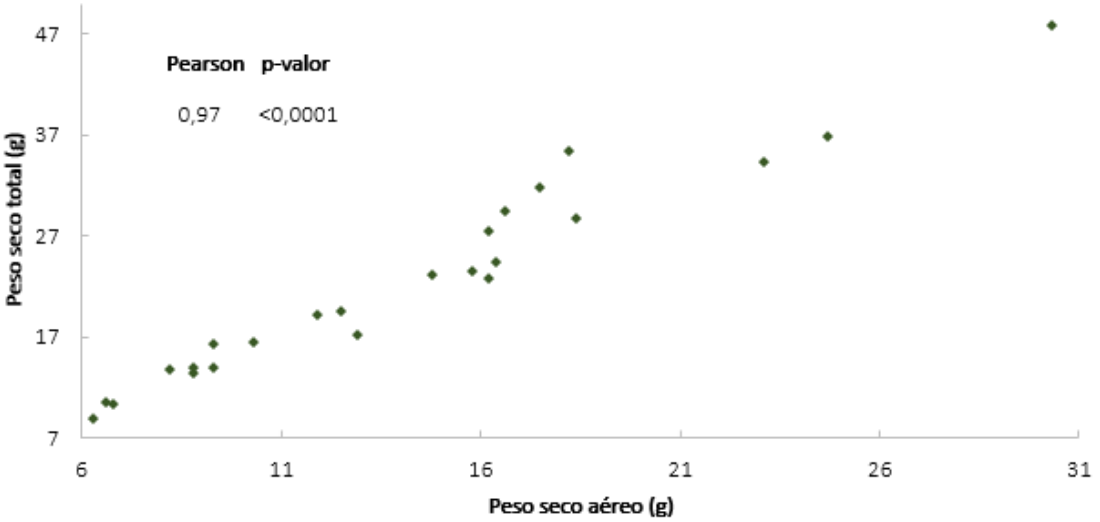


Figura 23. Correlación entre peso seco aéreo y peso seco total

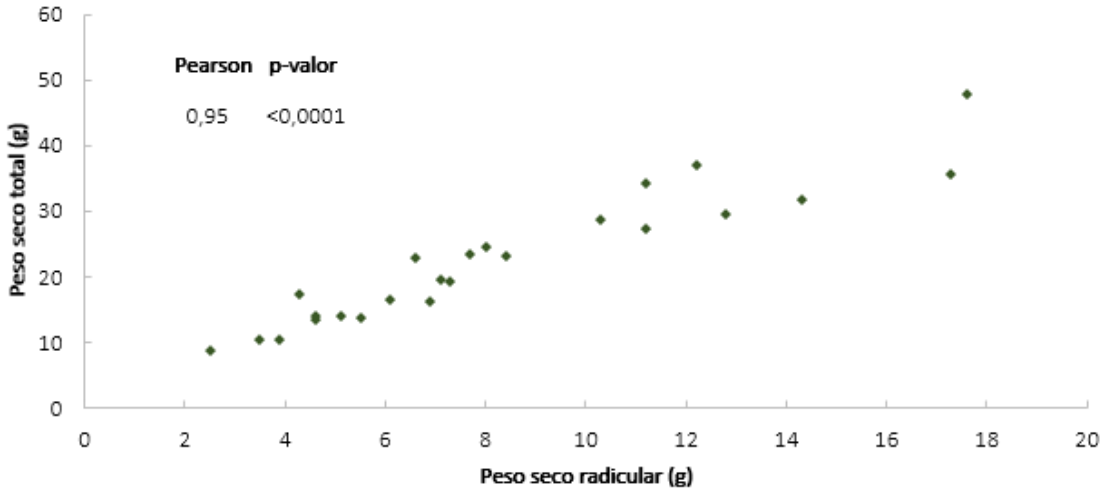


Figura 24. Correlación entre peso seco radicular y peso seco total

5. DISCUSIÓN

En este experimento, bajo condiciones óptimas, se pudo observar valores significativamente superiores en las variables: altura de la planta, TCA de altura, incremento número de hojas, TCA número de hojas, TCR número de hojas y número de ramificaciones, según Ferreyra y Selles (2011), los niveles adecuados de humedad en el suelo, satisfacen las necesidades de transpiración de la planta, mantiene un equilibrio hídrico evitando un déficit o exceso de humedad y favorece el crecimiento y desarrollo de la planta. Respecto a la conductividad eléctrica, Aguirre (2009), agrega que los valores óptimos para cítricos son < 1,7 ds/m, alrededor de este valor la planta no presenta estrés salino dado que los iones Cl^- y Na^+ no la intoxican por la baja concentración de los mismos y también acota que por unidad aumentada de CE se reduce en 16 % el rendimiento.

Cuando las plantas fueron sometidas a estrés hídrico por exceso, exhibieron los valores significativamente mayores para las variables: incremento de altura y TCA de altura. Estos resultados podrían responder al hecho de que los cítricos generalmente, responden al exceso de agua, disminuyendo la conductancia estomática y el intercambio gaseoso (Rodríguez-Gamir *et al.*, 2011). En investigaciones previas en el portainjerto Citrange 'Carrizo', mostraron que dicho exceso hídrico, coincidió con menor contenido de nitrógeno en las raíces y hojas. En otras investigaciones en cítricos, reportaron disminución de contenidos de almidón y de sacarosa en raíces y hojas, así como también una alteración de la relación nitrógeno-carbono y la partición de los mismos dentro de los órganos de la planta (Martínez *et al.*, 2015).

En cuanto al déficit hídrico, se pudo observar que coincidió con una reducción de los valores para las variables: altura de planta, incremento de altura, TCA de altura, TCR de altura, incremento número de hojas, TCA número de hojas, TCR número de hojas. Esto se podría explicar debido a que las funciones vitales como: crecimiento, desarrollo vegetal, respiración, fotosíntesis, reacciones anatómicas y metabólicas, reproducción, desarrollo de semillas, absorción de nutrientes, transporte de asimilados y producción, están influenciados principalmente por la disponibilidad de agua, es así que las plantas de cítricos regados por debajo de sus requerimientos hídricos, no alcanzan el tamaño óptimo frente a las que reciben un suministro adecuado. Además, el déficit hídrico promueve la producción de la fitohormona ABA (ácido abscísico) que envía señales a las hojas para el cierre estomático Rodríguez (2012), por lo cual limita la asimilación de CO_2 y se trunca parcialmente el proceso fotosintético, disminuyendo así la producción de fotoasimilados. En investigaciones realizadas sobre lima 'Rangpur' y Citrumelo 'Swingle' se

detectó que el riego deficiente, redujo el potencial hídrico foliar y causó limitación en la difusión de la fotosíntesis de ambos patrones (García -Orellana *et al.*, 2007; Ortuño *et al.*, 2004; Pedroso *et al.*, 2014).

Referente al estrés por salinidad, presentó medias superiores en las variables: TCR de altura e incremento diámetro de tallo. En cuanto a la salinidad, se sabe que causa daños severos como quemaduras en los tejidos, abscisión foliar y la muerte del individuo. Varios estudios en cítricos reportaron que la presencia de NaCl en la zona radicular, deshidrata las membranas celulares, así como una reducción de suministro de CO_2 debido al cierre estomático (Romero *et al.*,1998; Foyer *et al.*, 2005 y Masood *et al.*, 2012). También, se reporta toxicidad causada por los iones salinos Cl^- y Na^+, deficiencia de K^+ (interviene en la producción de ATP) que causa incremento de la respiración celular, lo que contribuye a disminuir el crecimiento y desarrollo de la planta, además, cambia la composición iónica del citoplasma y cloroplastos (Gómez, 2014).

Limón mandarino presentó los valores más altos en las variables: altura, incremento de altura, TCA de altura, número de hojas, incremento número de hojas, TCA número de hojas, área foliar, diámetro de tallo, incremento diámetro de tallo. En investigaciones realizadas por Fochesato *et al.* (2007), sobre crecimiento vegetativo de limón mandarino, comparado con *Poncirus trifoliata y Citrus sinensis* en condiciones de invernadero sobre distintos sustratos, limón mandarino tuvo valores superiores en las variables de: área foliar y número de hojas Esto se explica a las características genotípicas del portainjerto en cuestión; resultados similares fueron registrados con un sustrato alto en salinidad, observando que limón mandarino obtuvo una mayor área foliar por hoja que el resto de portainjertos (Schafer 2004).

Naranjo agrio presentó la media superior solamente en la variable número de ramificaciones, al respecto Medina *et al.* (2008), usó el naranjo agrio como portainjerto para *Citrus aurantifolia* (limón mexicano) sosteniendo que es una especie poco vigorosa y mostró valores inferiores frente al resto de portainjertos en las variables (altura, diámetro de copa, volumen de copa y producción en planta de limón mexicano).

Mandarino 'Cleopatra' presentó las medias más bajas en las variables: altura, TCA de altura, número de hojas, incremento número de hojas, TCA número de hojas, número de ramificaciones, área foliar, diámetro de tallo e incremento diámetro de tallo. Según algunos autores, cada especie tiene su ritmo de crecimiento, y el grupo de los mandarinos crecen de manera lenta en sus estadíos tempranos y sus hojas son pequeñas comparadas con otras especies (Yahmed *et al.*, 2015).

La variable densidad estomática fue influenciada por la interacción de factores (tratamientos). Al respecto Cañizares *et al.* (2003) y Reed *et al.* (1931), 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 de los estomas y la densidad estomática. En estudios realizados sobre hojas de limón 'Eureka', el número de estomas decreció conforme aumentó la latitud: a 32° 51' latitud norte en Calexico, EEUU, donde tuvieron 555 estomas por mm^{-2} y en una latitud de 37° 54' latitud norte, Berkeley, EEUU tuvieron 480 estomas por mm^{-2}. Esto coincide a los valores de la presente investigación, donde los portainjertos se encontraron a una latitud menor (Sur 03°19', Loja, Ecuador) y el rango de número de estomas fue de 583 a 875 estomas mm^{-2}. No obstante la variación estomática puede estar influenciada también por el fotoperiodo existente en las latitudes cercanas a la línea ecuatorial, ya que, al ser mayor la cantidad de horas de luz, las plantas estan por más tiempo activas, por lo cual necesitan una mayor cantidad de estomas para realizar sus actividades de manera continua.

Diámetro de copa y volumen de copa, fueron influidas por la interacción de factores (tratamientos), según Cenicafé (2007), estas variables están en función de la de portainjerto y de la altura de la planta, señalan, además, que la correlación entre área foliar y altura determinan los valores de diámetro y volumen de copa. En este estudio se correlacionó las variables mencionadas y el resultado fue una correlación positiva, esto coincide con lo expresado por los autores del estudio mencionado.

Peso seco aéreo, peso seco radicular y peso total, estuvieron influenciadas por la interacción de factores (tratamientos), 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. Pérez-Pérez *et al.* (2010), encontraron que el cultivar de naranja 'Lane late' injertado sobre el portainjerto "Carrizo", mostró una producción alta de materia seca, dada por la eficiencia del uso del agua.

6. CONCLUSIONES

Las diferentes características vegetativas fueron influenciadas por los factores tipos de estrés y especies de portainjertos de manera independiente, además, la interacción de factores (tratamientos) influyeron sobre las variables: densidad estomática, diámetro de copa, volumen de copa, peso seco aéreo, peso seco radicular y peso seco total.

Bajo condiciones óptimas del ensayo, se exhibió los valores significativamente superiores en la mayoría de variables, por lo que se concluye que las condiciones óptimas de agua y salinidad, propician el crecimiento y desarrollo de manera ininterrumpida.

Estrés hídrico por déficit, presentó las medias más bajas en el 35 % de las variables, por lo tanto, se concluye que la deficiente cuota hídrica, retrasa el crecimiento y desarrollo vegetal, además, este tipo de estrés afectó negativamente a las variables vegetativas con mayor severidad en comparación a los demás tipos de estrés.

Mandarino 'Cleopatra' mostró las medias más bajas en 45 % de las variables evaluadas, se debe considerar que el grupo de los mandarinos tienen crecimiento y desarrollo temprano lento, en comparación con otras especies.

El 50 % de las medias significativamente superiores, correspondieron a limón mandarino, este portainjerto mostró caracteristicas vegetativas tempranas óptimas que pueden ser favorables para injertar una especie de interés comercial.

La especie de portainjerto que mejores caracteristicas vegetativas presentó cuando fue sometida a estrés por déficit hídrico y salino fue limón mandarino, por lo cual puede ser favorable su propagación para posteriores ensayos en campo abierto.

7. RECOMENDACIONES

Realizar análisis bromatológicos, que permitan definir la movilidad de las sales dentro de los portainjertos.

Emplear los portainjertos estudiados para injertación con variedades comerciales como: naranja ‘Washington navel’ o ‘Sanguínea’, y llevarlos a fase de campo abierto, documentar el desarrollo vegetativo, probar podas de formación para la zona, experimentar con el uso de fitohormonas para acelerar el desarrollo, crecimiento y entrada en producción.

Promover la investigación citrícola en la región sur del Ecuador y generar información de base y ponerla a servicio de los productores, para que se motiven a cultivar cítricos en la región sur del Ecuador, especialmente en la provincia de Loja.

Establecer un vivero y plantación certificada de cítricos, cuyo ente rector sea la Universidad Nacional de Loja y como técnicos asociados a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Agronómica y Agrícola.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aduana del Ecuador. 2019. Importaciones no petroleras transmitidas en diciembre 2019. Ecuador. Recuperado en: https://www.aduana.gob.ec/importaciones/. Consultado el: 8 de junio de 2020.

Aguilar Pedro., Escobar Manuel, Pássaro Catarina. 2012. Cítricos: Cultivo, poscosecha e industrialización. Primera edición. Antioquia, Colombia. 368p.

Aguirre Alberto. 2009. El manejo de la conductividad eléctrica en fertirriego. Grado de especialización en química aplicada. México, Saltillo. Centro de Investigación en Química Aplicada.

Arbona V., Gómez A. (2008). Hormonal modulation of citrus responses to flooding. J Plant Growth Regul, 27:241-250.

Bailey S., Voesenek L. (2008). Flooding stress: acclimations and genetic diversity. Annual Review of Plant Biology, 59:313–39.

Bancon M. 2004. Water use efficiency in plant biology. First edition. Blackwell Publishing Ltd. (EUA). 344p.

Barrientos-Priego Alejandro, W Borys Michal, Trejo Carlos, López-López Luis. (2003). Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. Revista Fitotécnica de México, 26 (4): 285-290.

Cañizares A, Sanabria ME, Rodríguez D, 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.

Carbonell J. 2018. La actividad citrícola argentina. Federación Argentina del Citrus. Buenos Aires. Argentina. Recuperado en: https://www.federcitrus.org/wp-content/uploads/2018/05/Actividad-Citricola-2018.pdf. Consultado el 9 de junio de 2020.

Castro N, Flores S, Guzmán A, Cantor J, Velásquez F, Leiva. 2014. Situación actual en el limón mandarino (*Citrus* x *limonia*) en el departamento de Suchitepéquez-Una alternativa en la diversificación agrícola. Curso de Seminario. Mazatenango, Guatemala: Carrera de Agronomía Tropical, Universidad San Carlos de Guatemala. 56p.

Cenicafé. 2007. Evaluación de portainjertos de cítricos en la zona central cafetera de Colombia. Caldas, Colombia. 56pp.

Colmer T., Voesenek L. (2009). Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. Functional Plant Biology, 36: 665–681.

CGC. 2016. La citricultura en España: presente y futuro. Comité de gestión de cítricos. España. Recuperado en: https://www.agronegocios.es/digital/files/planstar/Sanfeliu_pstar_citricos_valencia.pdf. Consultado el 8 de junio de 2020.

ESPAC. 2019. Tabulados Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Ecuador. Recuperado en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2. Consultado el 8 de junio de 2020.

FAO. 2017. Citrus fruit fresh and processed statistical bulletin 2016. Roma. Recuperado en: http://www.fao.org/3/a-i8092e.pdf. Consultado el 8 de junio de 2020.

Fergusson, L., Grattan S. (2005). How salinity damages Citrus: osmotic effects and specific ion toxicities. HortTechnology, 15 (1): 95-99.

Ferreyra R, Selles G. 2011. Requerimientos hídricos, sistema radicular y manejo del riego, efecto del estrés hídrico en los diferentes periodos de desarrollo del cultivo. Chile. Recuperado en: https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/5246/NR38036.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Consultado el 10 de enero de 2021.

Fochesato M, Dutra de Souza P, Shafer G, Schmatz H. (2007). Crecimiento vegetativo de portainjertos de cítricos que se producen en distintos sustratos comerciales. Ciencia rural, 37(4):970–975.

Foyer CH, Noctor G. (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): 1056–71.

Gallego J, Enríquez A, Caicedo A, Posso A, Muñoz J. Diversidad genética en patrones de cítricos mediante microsatélites amplificados al azar (RAMs). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 15 (1): 85-89.

García F, Syvertsen J. (2006). Salinity tolerance of 'Cleopatra' mandarin and Carrizo citrange citrus rootstock seedling is affected by CO_2 enrichment during growth. Journal of the American Society for Horticultural Science, 131 (1): 24-31.

García-Orellana Y, Ruiz-Sánchez MC, Alarcón JJ, Conejero W, Ortuño MF, Nicolás E, Torrecillas A. (2007). Preliminary assessment of the feasibility of using maximum daily trunk shrinkage for irrigation scheduling in lemon trees. Agricultural Water Management, 89: 167-171.

González D. 2017. Patrones y variedades de cítricos: Un recorrido histórico. Tesis maestría en Técnicas Avanzadas para la Investigación y la Producción en Fruticultura. Alicante, España: Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández de Elche. 60p.

Gómez A. 2011. Respuesta de Naranjo lane late a la salinidad. Efecto del patrón y de la fertilización nitrogenada. Tesis doctoral de Ingeniero Agrónomo. Alicante, España, Universidad Miguel Hernández.

Grant B, Vatnick I. 2004. Teaching Issues and Experiment in Ecology (TIEE) is a project of the Education and Human Resources Committee of the Ecological Society of America. TIEE: Volume1-Ecological Society of America.

INTA 2012. Los cítricos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires. Argentina. Recuperado en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_manual_citricultura_cap6.pdf. Consultado el 9 de junio de 2020.

Jiménez R, Zamora V. 2010. Vivero de cítricos en el contexto fitosanitario actual. Instituto de investigaciones en Fruticultura Tropical, La Habana, Cuba. Recuperado en: En: http://riacnet.net/wp-content/uploads/2014/11/Conf-1-Cultivares.pdf. Consultado el 13 de enero de 2021.

Lee S. 1986. The intensity and consequences of herbivory on *Kandelia candel* (L.) Druce leaves at the Mai Po marches, Hong Kong. Proceedings of the Second International Marine Biological Workshop: The marine flora and fauna of Hong Kong and Southern China, Hong Kong, 717-725pp.

Martínez-Alcántara B, Martínez-Cuenca MR, Quiñonez A, Iglesias DJ, Primo-Millo E, Forner-Giner MA. (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, Mühling KH. (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, 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.

Milla D *et al.* (2009). Crecimiento de limero "Tahití" (*Citrus latifolia* Tan.) y desarrollo del fruto sobre cuatro portainjertos en un huerto frutal ubicado en el Municipio Palavecino, estado Lara, Venezuela. Revista UDO Agrícola, 9 (1): 85-95.

Moya *et al.* (2002). Transmissible salt tolerance traits identified through reciprocal grafts between sensitive Carrizo and tolerant 'Cleopatra' citrus genotypes. Journal of Plant Physiology, 159: 991–998.

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. Castellón, España: Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales, Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural, Universitat Jaume I. 196p.

Núñez M *et al.* (2017). Estrés hídrico y salino en cítricos. Cultivos tropicales. 38 (4): 65-74.

Ortuño MF, Alarcón JJ, Nicolás E, Torrecilla A. (2004). Interpreting trunk diameter changes in young lemon trees under deficit irrigation. Plant Science, 167: 275-280.

Pérez-Pérez J, García JM, Robles P, 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.

Pedroso FKJV, Prudente DA, Bueno ACR, Machado EC, Ribeiro RV. (2014). Drought tolerance in citrus trees is enhanced by rootstock-dependent changes in root growth and carbohydrate availability. Environmental and Experimental Botany, 101:26–35.

Ramos C, Kaufmann M. (1979). Hydraulic resistance of rough lemon roots. Physiologia Plantarum, 45: 311-314.

Reed H, Hirano H. (1931). The density of stomata in citrus leaves. Journal of Agricultural Research 43: 209-222.

Rodríguez-Gamir J, Ancillo G, González-Mas MC, Primo-Millo E, Iglesias DJ, Forner-Giner MA. (2011). Root signalling and modulation of stomatal closure in flooded citrus seedlings. Plant Physiology and Biochemistry, 49(6):636–45.

Rodríguez J. 2012. Conductancia hidráulica en patrones de cítricos. Tesis doctoral de Ingeniero Agrónomo. Valencia, España: Departamento de Producción Vegetal, Universidad Politécnica de Valencia.

Roldán D., Salazar M. 2004. La cadena de cítricos en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá. Colombia. Recuperado en: http://repiica.iica.int/docs/B0148e/B0148e.pdf. Consultado el 9 de junio de 2020.

Romero-Aranda R, Moya JL, Tadeo FR, Legaz F, Primo-Millo E, 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):1243–53.

SACSA. 2016. Ventajas y desventajas de los portainjertos. Sinaloa, México. Recuperado en: http://www.gruposacsa.com.mx/ventajas-y-desventaja-de-los-injertos/. Consultado el 9 de junio de 2020.

Sandor Ferenc. 2008. Soil Testing. Primera edición. Jalalabad, Afghanistan: Roots of Pace-USAID. 100p. (Perennial Crop Support Series).

Schäfer G. (2004). Producción de portainjertos de cítricos en contenedores y ambiente protegido en Rio Grande do Sul. Tesis doctoral en Fitotecnia-Curso de Postgrado en Fitotecnia. Porto Alegre, Brasil. Universidad Federal de Rio Grande do Sul.

Syvertsen J., *et al.* (1988). Salinity and drought stress effects on foliar ion concentration, water relations, and photosynthetic characteristics of orchard citrus. Aust J. Agric. Res, 39: 619-627.

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 en Ciencias Agropecuarias. Córdoba, Argentina: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdova.

Valarezo *et al.* 2014. Guía técnica sobre el manejo de los cítricos en litoral ecuatoriano. Portoviejo, Ecuador. Recuperado en: https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1194. Consultado el 8 de junio de 2020.

Varela Félix. 2018. Importancia y distribución de los cítricos. Tecnoagro. 1 (124). Naucalpan, México.

Wu, G *et al.* (2018). Genomics of the origin and evolution of *Citrus*. NatureResearch, 554: 311–316. https://doi.org/10.1038/nature2544.

Yances S. (2018). Importancia de la producción de naranja en Caluma y el impacto que tiene en los festivales del cantón. Trabajo de titulación para Licenciatura en gastronomía. Quito, Ecuador: Colegio de Hospitalidad, Arte Culinario y Turismo, universidad San Francisco de Quito.

Yahmed J, M de Oliveira T, Novillo P, Quinonez A, Foener MA, Salvador A, Froelicher Y, Mimoun M, Talon M, Ollitraut P, 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.

Yin C *et al.* (2005). Adaptive responses of *Populus kangdingensis* to drought stress. Physiologia Plantarum, 123: 445-451.

Zekri M. (1991). Effects of NaCl on growth and physiology of sour orange and 'Cleopatra' mandarin seedlings. Scientia Horticulturae, 47: 305-315.

9. ANEXOS

Anexo 1. Evidencias fotográficas

Figura 25. Instalación de la estructura destinada para la implementación del proyecto

Figura 26. Adecuación del espacio físico para implementación del proyecto

Figura 27. Adecuación del material vegetal y preparación del sustrato

Figura 28. Material vegetal: etiquetado,
tratado e implementado según el diseño experimental preestablecido

Figura 29. Pesado de NaCl y aforo de agua según la metodología preestablecida, para aplicación a los respectivos tratamientos

Figura 30. Monitoreo e indicaciones del director de tesis para la correcta toma de datos y aplicación de tratamientos

Figura 31. Toma y registro de datos

Figura 32. Montaje de improntas y cuantificación estomática

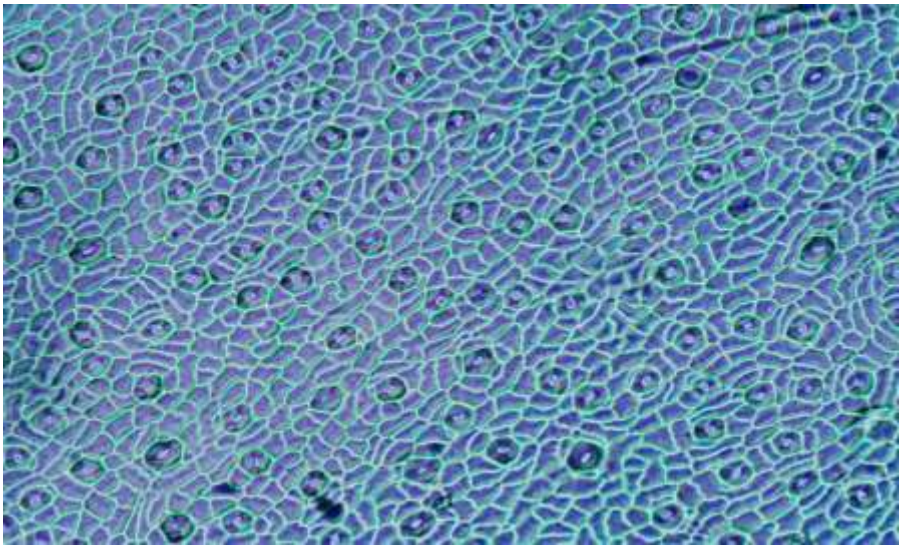


Figura 33. Campo de contabilización estomática con el aumento 10X

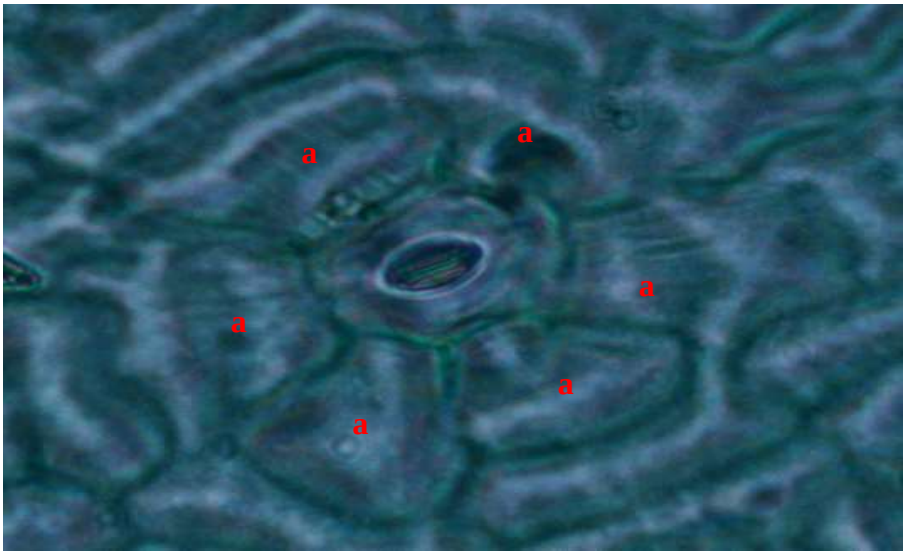


Figura 34. Detalle del estoma y sus células epidérmicas (a), fotografía con el aumento 40X

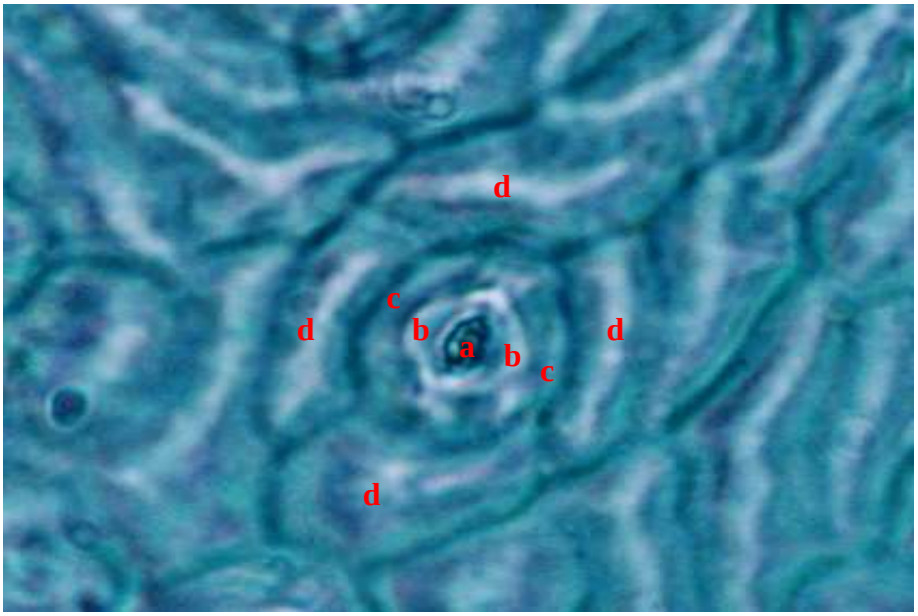


Figura 35. Detalle del estoma: ostiolo (a), células oclusivas (b), subsidiarias (c) y epidérmicas (d), fotografía con el aumento 40X

Figura 36. Aplicación del método destructivo para definir peso seco: radicular, foliar y total

Figura 37. Secado y pesado de material vegetal

Anexo 2. Resultados del ANAVA de las diferentes variables

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
X DE ALTURA	60	0,81	0,74	14,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7729,92	15	515,33	12,36	<0,0001
TIPO DE ESTRÉS FA	424,09	3	141,36	3,39	0,0262
TIPO DE PORTAINJERTO FB	3452,22	2	1726,11	41,39	<0,0001
REPETICIÓN	3486,15	4	871,54	20,90	<0,0001
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	367,46	6	61,24	1,47	0,2112
Error	1835,06	44	41,71		
Total	9564,98	59			

Figura 38. Resultados del ANAVA de la variable altura (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
INCREMENTO DE ALTURA	60	0,39	0,18	49,76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	541,73	15	36,12	1,89	0,0513
TIPO DE ESTRÉS FA	247,55	3	82,52	4,32	0,0094
TIPO DE PORTAINJERTO FB	137,76	2	68,88	3,61	0,0355
REPETICIÓN	24,14	4	6,04	0,32	0,8658
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	132,28	6	22,05	1,15	0,3479
Error	840,46	44	19,10		
Total	1382,18	59			

Figura 39. Resultados del ANAVA de la variable incremento de altura (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
TCA ALTURA (cm día -1)	60	0,39	0,19	49,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,07	15	4,5E-03	1,90	0,0507
TIPO DE ESTRÉS FA	0,03	3	0,01	4,31	0,0094
TIPO DE PORTAINJERTO FB	0,02	2	0,01	3,63	0,0347
REPETICIÓN	2,9E-03	4	7,4E-04	0,31	0,8680
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	0,02	6	2,7E-03	1,16	0,3439
Error	0,10	44	2,4E-03		
Total	0,17	59			

Figura 40. Resultados del ANAVA de la variable Tasa de Crecimiento Absoluto de altura (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
TCR ALTURA (cm cm dia -1)	60	0,45	0,26	62,32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9,5E-05	15	6,4E-06	2,36	0,0137
TIPO DE ESTRÉS FA	2,6E-05	3	8,6E-06	3,21	0,0320
TIPO DE PORTAINJERTO FB	1,4E-05	2	7,2E-06	2,68	0,0798
REPETICIÓN	2,7E-05	4	6,8E-06	2,52	0,0549
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	2,8E-05	6	4,7E-06	1,73	0,1364
Error	1,2E-04	44	2,7E-06		
Total	2,1E-04	59			

Figura 41. Resultados del ANAVA de la variable Tasa de Crecimiento Relativo de altura (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
X # DE HOJAS	60	0,45	0,26	36,66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4428,62	15	295,24	2,41	0,0121
TIPO DE ESTRÉS FA	339,47	3	113,16	0,92	0,4382
TIPO DE PORTAINJERTO FB	3009,77	2	1504,88	12,26	0,0001
REPETICIÓN	448,75	4	112,19	0,91	0,4643
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	630,63	6	105,10	0,86	0,5343
Error	5400,92	44	122,75		
Total	9829,55	59			

Figura 42. Resultados del ANAVA de la variable número de hojas (p valor significativo < 0,05)

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
X INCREMENTO # HOJAS	60	0,52	0,40	48,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	21723,78	11	1974,89	4,65	0,0001
TIPO DE ESTRÉS FA	5895,38	3	1965,13	4,62	0,0064
TIPO DE PORTAINJERTO FB	10318,63	2	5159,32	12,14	0,0001
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	5509,77	6	918,29	2,16	0,0634
Error	20400,80	48	425,02		
Total	42124,58	59			

Figura 43. Resultados del ANAVA de la variable incremento de número de hojas (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
TCA # DE HOJAS	60	0,57	0,42	47,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,94	15	0,20	3,83	0,0003
TIPO DE ESTRÉS FA	0,73	3	0,24	4,75	0,0059
TIPO DE PORTAINJERTO FB	1,27	2	0,64	12,39	0,0001
REPETICIÓN	0,27	4	0,07	1,30	0,2848
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	0,68	6	0,11	2,19	0,0616
Error	2,26	44	0,05		
Total	5,20	59			

Figura 44. Resultados del ANAVA de la variable Tasa de crecimiento Absoluto de número de hojas (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
TCR # HOJAS	59	0,46	0,27	48,39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	15	5,6E-04	2,44	0,0112
TIPO DE ESTRÉS FA	4,6E-03	3	1,5E-03	6,73	0,0008
TIPO DE PORTAINJERTO FB	7,5E-04	2	3,8E-04	1,65	0,2034
REPETICIÓN	7,1E-04	4	1,8E-04	0,78	0,5426
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	2,3E-03	6	3,8E-04	1,67	0,1508
Error	0,01	43	2,3E-04		
Total	0,02	58			

Figura 45. Resultados del ANAVA de la variable Tasa de crecimiento Relativo de número de hojas (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
# DE RAMIFICACIONES	60	0,51	0,35	34,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	309,00	15	20,60	3,09	0,0018
TIPO DE ESTRÉS FA	66,73	3	22,24	3,33	0,0279
TIPO DE PORTAINJERTO FB	170,03	2	85,02	12,74	<0,0001
REPETICIÓN	1,07	4	0,27	0,04	0,9969
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	71,17	6	11,86	1,78	0,1261
Error	293,73	44	6,68		
Total	602,73	59			

Figura 46. Resultados del ANAVA de la variable número de ramificaciones (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
X ÁREA FOLIAR	24	0,79	0,39	42,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2227938,57	15	148529,24	1,99	0,1645
REPETICIÓN	415020,40	4	103755,10	1,39	0,3205
TIPO DE ESTRÉS FA	429534,81	3	143178,27	1,91	0,2057
TIPO DE PORTAINJERTO FB	843065,28	2	421532,64	5,64	0,0297
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	540318,09	6	90053,01	1,20	0,3925
Error	598175,67	8	74771,96		
Total	2826114,24	23			

Figura 47. Resultados del ANAVA de la variable área foliar (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
X de número de estomas/mm²..	58	0,43	0,22	18,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	601629,92	15	40108,66	2,10	0,0297
TIPO DE ESTRÉS FA	41269,14	3	13756,38	0,72	0,5451
TIPO DE PORTAINJERTO FB	209679,98	2	104839,99	5,49	0,0076
REPETICIÓN	46168,24	4	11542,06	0,60	0,6612
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	304512,56	6	50752,09	2,66	0,0281
Error	801343,65	42	19079,61		
Total	1402973,57	57			

Figura 48. Resultados del ANAVA de la variable número de estomas (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
X DIÁMETRO DE TALLO	60	0,60	0,46	17,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	95,64	15	6,38	4,34	0,0001
TIPO DE ESTRÉS FA	3,11	3	1,04	0,71	0,5530
TIPO DE PORTAINJERTO FB	67,39	2	33,70	22,96	<0,0001
REPETICIÓN	18,07	4	4,52	3,08	0,0255
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	7,07	6	1,18	0,80	0,5733
Error	64,57	44	1,47		
Total	160,21	59			

Figura 49. Resultados del ANAVA de la variable diámetro de tallo (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
X INCREMENTO DIÁMETRO TALL..	60	0,33	0,10	64,72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10,03	15	0,67	1,45	0,1678
TIPO DE ESTRÉS FA	2,82	3	0,94	2,03	0,1230
TIPO DE PORTAINJERTO FB	0,93	2	0,46	1,00	0,3755
Repetición	1,68	4	0,42	0,91	0,4657
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	4,61	6	0,77	1,66	0,1528
Error	20,32	44	0,46		
Total	30,35	59			

Figura 50. Resultados del ANAVA de la variable incremento de diámetro de tallo (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
TCA DIÁMETRO DE TALLO	60	0,33	0,10	64,33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,2E-03	15	8,1E-05	1,45	0,1688
TIPO DE ESTRÉS FA	3,4E-04	3	1,1E-04	2,03	0,1228
TIPO DE PORTAINJERTO FB	1,1E-04	2	5,5E-05	0,99	0,3799
Repetición	2,0E-04	4	5,1E-05	0,91	0,4668
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	5,6E-04	6	9,3E-05	1,66	0,1530
Error	2,5E-03	44	5,6E-05		
Total	3,7E-03	59			

Figura 51. Resultados del ANAVA de la variable Tasa de Crecimiento Absoluto de diámetro de tallo (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
TCR DIÁMETRO DE TALLO	60	0,33	0,11	66,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,0E-05	15	2,7E-06	1,46	0,1618
TIPO DE ESTRÉS FA	1,4E-05	3	4,6E-06	2,50	0,0716
TIPO DE PORTAINJERTO FB	3,8E-06	2	1,9E-06	1,04	0,3627
Repetición	2,8E-06	4	7,1E-07	0,39	0,8170
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	2,0E-05	6	3,3E-06	1,80	0,1207
Error	8,0E-05	44	1,8E-06		
Total	1,2E-04	59			

Figura 52. Resultados del ANAVA de la variable Tasa de Crecimiento Relativo de diámetro de tallo (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
X DIÁMETRO DE COPA	60	0,77	0,69	15,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3309,34	15	220,62	9,96	<0,0001
TIPO DE ESTRÉS FA	430,58	3	143,53	6,48	0,0010
TIPO DE PORTAINJERTO FB	1918,83	2	959,41	43,30	<0,0001
REPETICIÓN	483,29	4	120,82	5,45	0,0012
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	476,64	6	79,44	3,59	0,0056
Error	974,91	44	22,16		
Total	4284,25	59			

Figura 53. Resultados del ANAVA de la variable diámetro de copa (p valor significativo < 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
VOLUMEN DE COPA	60	0,78	0,71	39,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	22261078551,91	15	1484071903,46	10,63	<0,0001
TIPO DE ESTRÉS FA	2594795424,59	3	864931808,20	6,20	0,0013
TIPO DE PORTAINJERTO FB	12242484196,84	2	6121242098,42	43,85	<0,0001
REPETICIÓN	5213140289,05	4	1303285072,26	9,34	<0,0001
TIPO DE ESTRÉS FA*TIPO DE ..	2210658641,43	6	368443106,91	2,64	0,0284
Error	6142061218,53	44	139592300,42		
Total	28403139770,44	59			

Figura 54. Resultados del ANAVA de la variable diámetro de copa (p valor significativo < 0,05)