Tipo de Artículo. Artículo de revisión

Área Temática:

COMPORTAMIENTO FISIOLOGÍCO DEL LIMÓN SUTIL (*Citrus aurantifolia Swingle)* EN SUELOS SALINOS

PHYSIOLOGICAL BEHAVIOUR OF LEMON SUTIL (Citrus aurantifolia Swingle) IN SALINE SOILS.

Fernando Andrés Ferrín - Adriana Celi Soto -

[1]Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

Resumen

Los suelos que son afectados por la salinidad tienen alta concentración de sales más solubles que carbonato de calcio y el yeso lo que directamente el crecimiento de las plantas. Es importante considerar que los cítricos, son cultivos perennes con un amplio rango de producción y son de importancia a nivel mundial. La salinidad genera diversos daños entre las cuales tenemos: quemaduras en los tejidos, disminución en el rendimiento, abscisión foliar y muerte de la planta. Al estrés salino se lo asocia con: a) un componente iónico ligado a la acumulación hasta niveles tóxicos de los iones Cl^- y Na^+ en el citoplasma, ocasionando un desbalance iónico; b) un componente osmótico debido a la compartimentación de este ion toxico en la vacuola que provoca que el potencial hídrico del citosol tenga que disminuir para balancear el bajo potencial hídrico externo y asegurar la entrada de agua en la célula vegetal y así evitar daño a la macromolécula. La producción de cítricos en Ecuador es importante el limón, cultivado en la provincia de Manabí. Dada la importancia del cultivo en la provincia, esta revisión se centra en analizar los efectos del estrés salino y sus causas, específicamente en el limón sutil para lo cual se realizará una minuciosa búsqueda de información de estudios con respecto a la salinidad.

Palabras claves: *Conductancia* estomática, fotosíntesis, NaCl, fotosistema.

Abstract

The soils that are affected by salinity have a high concentration of more soluble salts than calcium carbonate and gypsum which directly the growth of plants. It is important to consider that citrus fruits are perennial crops with a wide production range and are of worldwide importance. Salinity generates various damages among which we have: tissue burns, decreased yield, foliar abscission and plant death. Salt stress is associated with: a) an ionic component linked to the accumulation to toxic levels of Cl- and Na + ions in the cytoplasm, causing an ionic imbalance; b) an osmotic component due to the compartmentalisation of this toxic ion in the vacuole that causes the water potential of the cytosol to decrease to balance the low external water potential

and ensure the entry of water into the plant cell and thus avoid damage to the plant cell. macromolecule. The citrus production in Ecuador is important the lemon, cultivated in the province of Manabí. Given the importance of cultivation in the province, this review focuses on analyzing the effects of saline stress and its causes, specifically in citrus fruits, for which a meticulous search for information from studies regarding salinity will be carried out.

Keywords: Stomatal conductance, photosynthesis, NaCl, photosystem

1. Introducción

En la actualidad, entre todas las rutas, los cítricos ocupan los primeros lugares en producción, exportación y consumo; de acuerdo a investigaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la producción de limones y limas es de 10,0 millones de toneladas; siendo los principales productores los países como: México con 14.00%; India 13,00%, Argentina 11.00%, España 9.00%, Estados Unidos 8.00%, Irán 6.00% e Italia 5,00% (FAO, 2019).

Según Chen at al.(2019), los cítricos son uno de los frutales que más se cultivan a nivel mundial, se estima que está distribuido en 140 países de las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo. En el año 2019 la producción de limón (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle), naranja (*Citrus sinensis* Osbeck), mandarina (*Citrus rechni)* y toronja (*Citrus paradisi* Macfad) fue de 124.347 toneladas de las cuales, el 97.848 lo registró el hemisferio norte y 26.398.10 t corresponde al hemisferio sur. De acuerdo a la tendencia en producción, el consumo de la naranja constituye el 62 % de los cítricos que se producen, seguido por la producción de mandarinas, mientras que el 20% y el 15% lo representan los limones limas, por último, los pomelos constituyen el 3 % (Organización Mundial de Comercio, 2019).

En Ecuador, las especies de cítricos más predominantes en orden son: la naranja, mandarina, y el limón sutil criollo, estos frutales son cultivos que más se extienden en la provincia de Manabí, esto se debe a su gran oferta y demanda, haciendo un rubro de importancia económica para los productores (Organización Mundial de Comercio, 2019). Mientras que, en la provincia del Guayas, predomina la producción de limón sutil, lima tahití y la naranja; en la provincia de Los Ríos, se evidencia la naranja y mandarina. En las provincias de El Oro y Esmeraldas se da poca presencia de estos cultivos, de acuerdo a reportes del INEC (2018) . Mientras que el cultivo de limón, en las áreas de siembra se encuentran identificadas dos variedades como es: sutil criollo y el tahití, el primero se lo utiliza para el consumo local y el otro con fines de exportación, la sumatoria de ambas especies genera un total de 6.457 hectáreas; mientras que como monocultivos es de 3.257 hectáreas, de ellas 5.247 y 4.467 hectáreas se encuentran concentradas en las

provincias de Manabí, Pichincha, Guayas y en otras provincias en menor escala (INIAP, 2019) . Así mismo, se registró 1.763 hectáreas de limón cultivadas en la provincia de Manabí, concentradas en cantones, como Portoviejo y Santa Ana, convirtiéndose en los principales lugares de este cítrico (INEC, 2018).

Es importante mencionar, que en estas áreas de producción, los rendimientos son bajos, esto se daría por una serie de prácticas agronómicas inadecuadas, entre las cuales se identifica el mal uso del riego como suplemento durante la época seca, uno de los problemas primordiales resulta ser los sitios provenientes de agua que se utiliza como fuente de reserva para el riego durante la demanda seca, esta agua es proveniente de ríos y pozos, algunos de ellas presentan contaminación química, conduciendo a lo que se conoce como "la salinización de los suelos" (Zhu, 2002). Un reporte de FAO (2015) indica que la salinización es una situación que se encuentra afectando a más de 880 millones de hectáreas en el mundo, registrando alrededor del 6% de la superficie de la tierra. El impacto de la salinidad en el crecimiento y producción de los cítricos es la causa de efectos hiperosmóticos y de hiperiónicos que se produce en la rizosfera del suelo, el cual ocasiona una reducción significativa de todos los parámetros de crecimiento y producción (Shahid *et al*., 2020).

Los cítricos resultan ser sensibles a la salinidad, se menciona que no toleran niveles de sales mayores de 2,0 dS/m en el suelo y/o 1.0 dS/m del agua y reducen rendimientos a una tasa de 13,0 a 13,5 % por cada incremento de 1,0 dS/m (Storey y Walker, 1987). Sin embargo la síntesis de solutos orgánicos compatibles es un componente importante para la tolerancia de las plantas al estrés salino (Wu *et al*., 2021). Ahora bien la presencia de la salinidad de los suelos en los cultivos, ocasionan una disminución en su producción que es traducida en pérdidas económicas (Shahid *et al*., 2020). En tales condiciones, esta situación ha exigido que se realicen investigaciones para poder mejorar la respuesta de los cítricos bajos condiciones de estrés en estos tipos de suelos con alto nivel de salinidad, y poder verificar su comportamiento fisiológico, que se encuentre relacionado con sus factores hídricos, debido a los niveles de salinidad acumulados en los cítricos, por esta razón esta revisión se centrará en la búsqueda de investigaciones referente a salinidad específicamente en cítricos, dichos aportes servirán como estrategia a los acervos bibliográficos de la provincia y del país.

2. Antecedentes

Para Bilal *et al*. (2020), los cítricos están dentro del primer grupo de frutales en producción a nivel mundial, pertenecen al género *Citrus* y gracias a sus bondades nutricionales es muy apetecido en los diferentes mercados; sin embargo, al igual que todos los cultivos resultan ser sensibles a algunas condiciones ambientales, entre las que se destacan: la sequía, el riego excesivo o anegamiento, variabilidad de

temperaturas extremas (calor, frio), sanidad de los suelos y toxicidad mineral. Algunos investigaciones enfocadas a salinidad, han mostrado que la excesiva acumulación de sal provoca reducción en los parámetros de crecimiento como: peso seco y fresco de las raíces, biomasa aérea; asimismo se ha evidenciado que el incremento de salinidad aumenta la concentración de azúcar y prolina (Syvertsen y Garcia-Sanchez, 2014)

Es indispensable proporcionar guías de conocimiento a los agricultores, debido a que ellos enfrente una serie de problemas producto de la sequía y salinidad, ocasionando disminución en el rendimiento de los cultivos y alteración en la calidad de las frutas, la aplicación de nuevas prácticas agrícolas se convierten en herramientas y apoyo al productor, para fortalecer los ingresos económicos y minimizar el impacto negativo del estrés salino (Pereira *et al*., 2017).

Vázquez *et al*. (2018), menciona que el aumento de la salinidad provoca la acumulación de solutos orgánicos e inorgánicos, los cuales se encargan de reducir el potencial osmótico celular. Para Barbosa *et al*. (2015) los cítricos en general son sensibles al estrés salino y a cualquier exceso, principalmente en la fase de crecimiento de la planta, y ello se refleja en la disminución de la producción de frutos, provocada por una alteración en los cambios fisiológicos y bioquímicos en el metabolismo, reduciendo el rendimiento y la calidad del fruto, alterando la acidez del jugo, además el grosor de la cáscara y en el tamaño final de la fruta (Syvertsen y Garcia-Sanchez, 2014).

Una forma de contrarrestar la acumulación de sales sin duda es la síntesis de osmolitos orgánicos para el ajuste osmótico, pero esta acción genera alto costo energético dada la presencia de la síntesis de Novo , esto resultaría no ser sostenible para el cultivo en el tiempo; en todo caso, las plantas emplean mecanismos de tolerancia a nivel de tejidos para poder utilizar el Na^+ y el Cl^- para el ajuste osmótico, ahorrando energía en lugar de gastarla en la síntesis de solutos orgánicos (Wu *et al*., 2021). Cuando el agua tiene elevadas concentraciones de sal, también afecta a los cultivos de dos maneras: 1) por efectos osmóticos y 2) por toxicidad iónica específica, y ambos daños pueden afectar a los cítricos (Wu *et al*., 2021). Los daños por salinidad inducidos por efectos osmóticos se producen cuando la cantidad de sal disuelta en el agua es lo suficientemente alta como para reducir el crecimiento del cultivo (Alam, *et al*., 2020). Existe una serie de alternativas para mitigar el efecto por salinidad, dentro de los que se propone el riego alternativo sin niveles de salinidad y mediante la introducción de portainjertos de cítricos que sean resistente a la salinidad, este último ha sido probado en otros países y ha generado resultados positivos(Motato Alarcón & Pincay Menéndez, 2015).

2.1 Respuestas fisiológicas de las plantas frente al estrés salino

El cambio climático es considerado uno de los factores que contribuyen a la salinización de suelos, llegando a provocar degradación y desertificación (Shahid *et al.,* 2020). Los efectos adversos de la salinización en las plantas son evidentes por los efectos negativas en el crecimiento y por la alteración o inhibición de los procesos bioquímicos y fisiológicos; de acuerdo a las concentraciones de salinidad las plantas pueden clasificarse en: glicófitas o halófitas (Wang *et al*., 2014). Las glicófitas son plantas que se ven afectadas por condiciones de salinidad tanto a nivel celular así como toda la planta (Mahmoud *et al*., 2020). Una respuesta de estas plantas es acumular mayor solutos y este estrés iónico y osmótico le genera desequilibrio nutricional limitando su productividad (Shrivastava y Kumar, 2015). Uno de los efectos perjudiciales del NaCl, es la reducción de la disponibilidad de agua al acumularse el sodio en el suelo, esto se daría por el efecto tóxico de iones de sodio y cloro en las plantas (Van Zelm *et al*., 2020), por otra parte, cuando se hace mención de plantas halófitas se describe plantas que están adaptadas a ambientes salinos, pues ellas desarrollan estrategias especializadas para hacer frente al estés salino (Flowers *et al*., 2015).

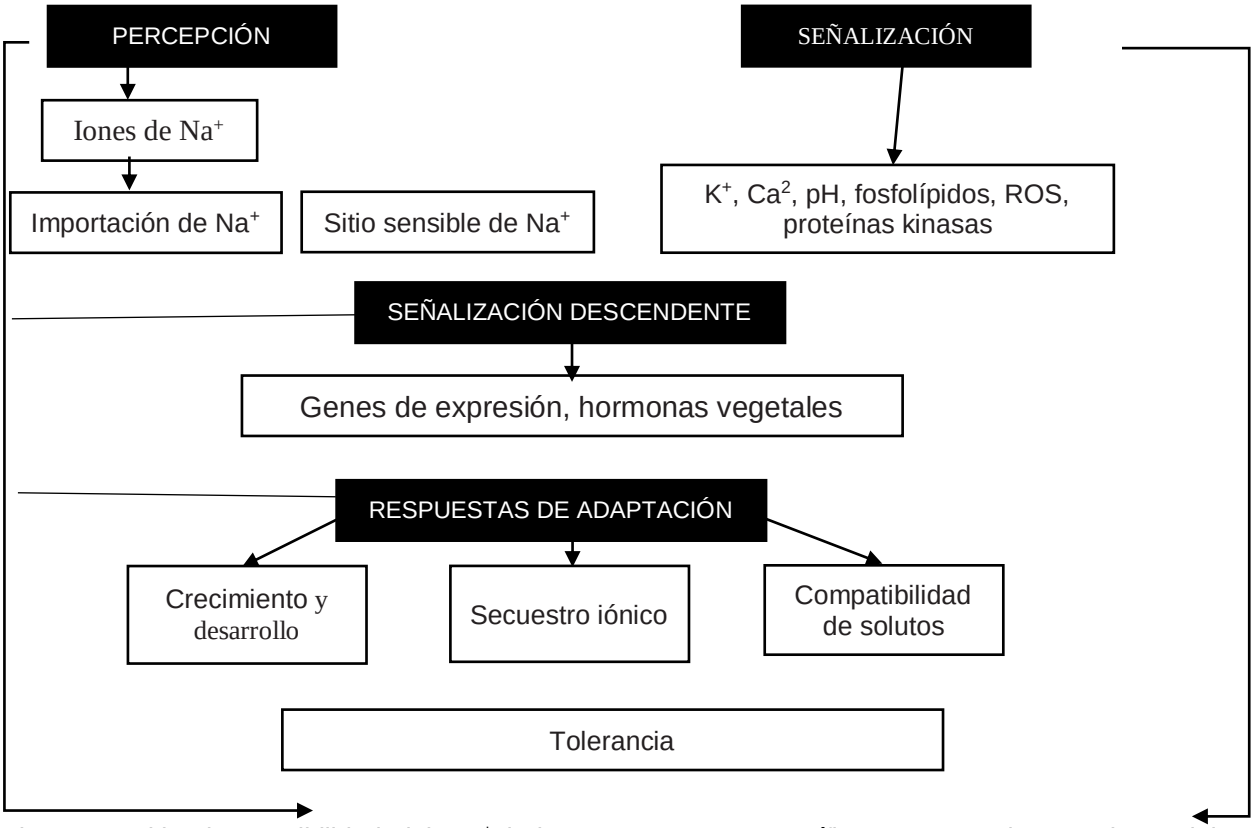

Figura 1. Sitio de sensibilidad del Na^+ induce respuestas específicas que pueden ser intracelular y extracelular, antes de la importación del Na^+, generando como respuestas iniciales el transporte de K^+, así como la señalización de Ca^2, transporte de H^+ y modificaciones de fosfolípidos, además de la inducción de las ROS, como respuesta a estas condiciones la planta genera una cascada de genes de expresión y hormonas vegetales que repercuten en la modulación del crecimiento y desarrollo, transporte de iones, y

producción de solutos compatibles para compensar el desequilibrio ocasionado por la salinidad (Van Zelm *et al*., 2020. Adaptado por Celi Adriana, 2021).

La salinidad puede clasificarse en primaria y secundaria; la salinidad primaria es el resultado de los procesos naturales que depositan las sales durante un período prolongado en la tierra y el agua, como la meteorización, la lluvia y el viento fuerte, por otra parte la salinidad secundaria es la acción de las actividades antropogénicas como la deforestación y el excesivo riego (Arif *et al*., 2020). Entonces, tanto el suelo y agua salina es el conjunto de varias sales como Na^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^{-}, $SO^{2-}{}_{4}$, y HCO^{-3}(Velmurugan *et al*., 2020). Generalmente la concentración de sal (sumatoria de catión y anión o individuales) se expresa como $mmol_{c}L^{-1}$ o mg L^{-1}, sin embargo para comodidad analítica se mide como conductividad eléctrica (CE) siendo su unidad siemens por metro (Sm^{-1}) (Arif *et al*., 2020).

Unas de las amenazas que la salinidad puede causar en los cultivos, es el daño de la maquinaria fotosintética, transpiración y el intercambio gaseoso al haber disminución del contenido de clorofila y carotenoides, esto sin duda causa distorsión a nivel de cloroplastos, además del fotosistema PSII, ocasionando reducción de la conductancia estomática (Pan *et al*., 2021). Por otra parte el efecto de salinidad en suelos también afecta el potencial hídrico del suelo y el potencial hídrico de las hojas; alterando las relaciones hídricas de las plantas y disminuyendo turgencia, conduciendo a un estrés osmótico (Navada *et al*., 2020).

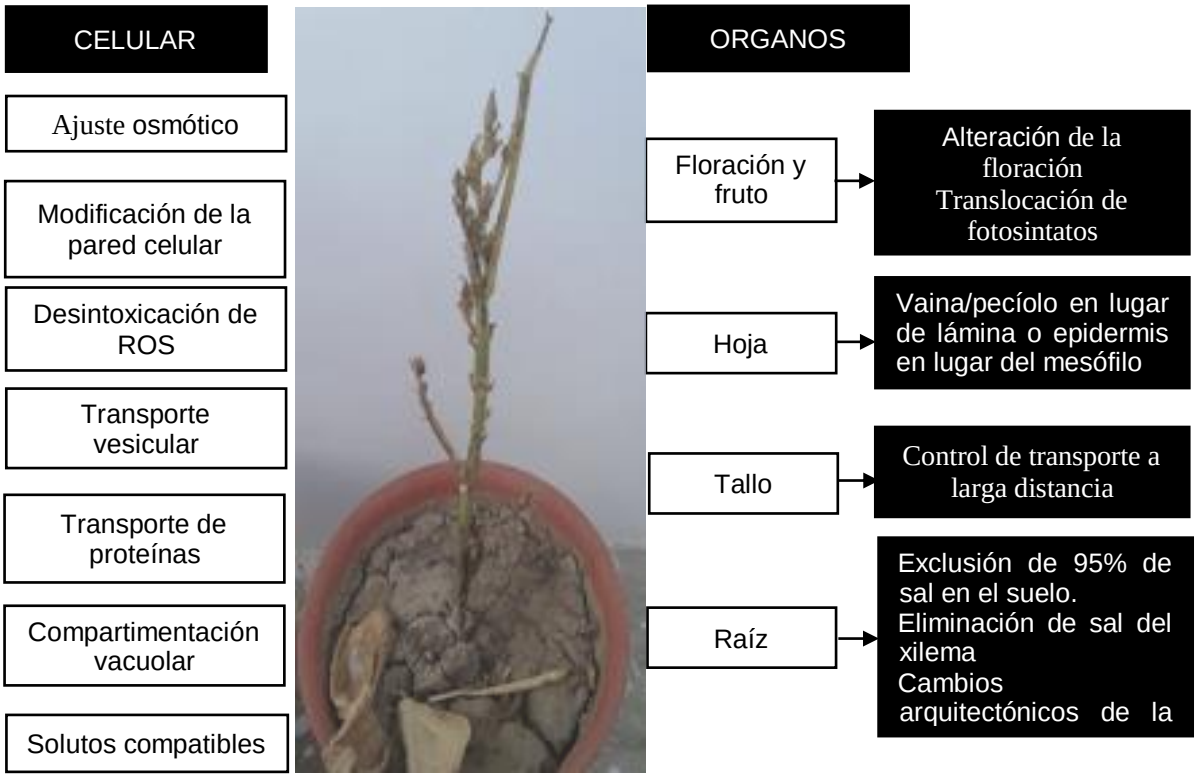

Figura 2. Mecanismo de adaptabilidad de tolerancia al estrés salino, a nivel celular y en cada órgano de las plantas (Munns y Gilliham, 2015. Ajustado y modificado por Celi Adriana, 2021).

Las plantas responden a diferentes condiciones de salinidad por medio de algunas estrategias entre ellas se destaca: la homeostasis, transporte de iones, adaptación osmótica, así como la estimulación de la capacidad antioxidante y la biosíntesis de poliaminas (De Freitas *et al*., 2019). La tolerancia de las plantas al estrés salino estaría mediado por tres respuestas principales de aclimatación: a) tolerancia al estrés osmótico por la acumulación de solutos compatibles en el citosol y la vacuola llegando a generar el ajuste osmótico, b) la exclusión de Na^+ del citosol por su compartimentación en la vacuola por medio de la actividad NHX o por la extrusión celular por la actividad HKT y SOS[1], y finalmente, c) tolerancia a nivel de tejidos, en donde los iones tóxicos se exportan a la vacuola y a las hojas viejas (Miranda *et al*., 2017).

La salinidad reduce el crecimiento de las plantas por medio de efectos osmóticos y tóxicos, cuando hay exceso de Na se produce sodicidad, provocando que se genere resistencia del suelo, inhibiendo crecimiento de raíz, así como disminución del movimiento del agua por medio de la raíz (Acosta-Motos *et al*., 2017).

Otra respuesta típica del estrés salino, es la reducción del área foliar que sería considerado como un mecanismo de evasión, minimizando la pérdida de agua por transpiración con el cierre estomático, a causa de ello favorecería la retención de iones tóxicos en las raíces evitando la acumulación de estos iones en toda la planta (Munns & Gilliham, 2015).

Sin duda, uno de los efectos del estrés salino en cítricos se asocia a la acción tóxica de los iones presentes en el agua de riego, principalmente al cloruro, sodio y boro, que actúan sobre los procesos fisiológicos de la planta (Barbosa *et al*., 2015). No obstante, la salinidad del agua puede afectar el crecimiento, intercambio de gases y el proceso fotosintético de los de cítricos, por medio de la conductividad eléctrica (CE) es la medida de concentración de sales en el estrato suelo, esta concentración va a diferir en función a la textura del suelo además del tipo de agua que se utiliza para riego

La conductividad eléctrica (CE) es la medida de la concentración de sales en el extracto de saturación del suelo (CEse) (Mirabal, 2015). Permite evaluar el grado de estrés asociado a un suelo o sustrato específico. Esta concentración varía en función del tipo de suelo, especialmente de su textura, y de las prácticas de gestión, como la adición de materias orgánicas y el tipo de agua utilizada (Brito *et al*., 2015). Se prevé que Ca y Mg son nutrientes que ayudan a tolerar concentraciones elevadas de sales, a pesar de que pueden reducir el potencial osmótico del suelo, por su parte el Ca regula la permeabilidad de los tejidos, estimula la absorción de nitrógeno y neutraliza los ácidos orgánicos; se ha visto que las plantas estresadas con sal, reducen la relación A/C_i lo que podría estar asociado a la disminución de la actividad de la Rubisco

carboxilasa, que se puede producir en paralelo con la acumulación intensa de Na+ y Cl- en los tejidos foliares. Razón por la que la reducción de la fotosíntesis puede ser, al menos en parte, un efecto directo de los iones Na^+ y Cl- (Silva *et al*., 2011).

2.2 Relaciones hídricas, intercambio de gases y regulación osmótica y mecanismos de tolerancia a la sal relacionados Planta-agua

La salinidad se convierte en una amenaza para las plantas y entra a ella por medio de las vías apoplásticas y simplásticas, en las monocotiledóneas esta activa la vía apoplástica, mientras que en las dicotiledóneas utilizan de forma preferencial la vía simplástica (Arif *et al*., 2020).Sin duda, una de las consecuencias del estrés salino es la alteración metabólica de las plantas, como es el caso de la alteración hormonal, así como la reducción de la actividad enzimática y el deterioro de la fotosíntesis (Van Zelm *et al*., 2020). A nivel del mecanismo fotosintético, en condiciones de salinidad la actividad de fosfoenol-piruvato carboxilasa (PEPC) se ve limitada (Zhang *et al*., 2021). Por otra parte, se ha involucrado también la inhibición de la actividad enzimática relacionada con el ciclo de calvin (ribulosa 1,5-difosfato carboxilasa, ribu- lose 5-fosfato quinasa, ribulosa 5-fosfato isomerasa y gliceraldehído 3-fosfato deshidrogenasa).

Los cítricos tienen la capacidad de hacer modificaciones a la elasticidad de la pared celular, aumentando la elasticidad de la pared, se consigue reducción del potencial de presión provocando la reducción del potencial de presión y así reducir el potencial hídrico de la planta (Xiao *et al*.,2017). Además, es importante mencionar que la edad de las hojas es determinante en la respuesta de los cítricos ante cualquier estrés, pues mientras más jóvenes son más eficaces a hacer frente al estrés, y, una respuesta inmediata para ello es la apertura estomática que sería crucial para la supervivencia (Syvertsen y Garcia-Sanchez, 2014). Para el caso de los cítricos las reducciones de los parámetros de intercambio de gases está directamente asociado a la toxicidad específica del Cl^- y Na^+ más que el estrés osmótico, sin embargo este comportamiento conlleva a que se dé un proceso osmótico de los cítricos (Pérez *et al*., 2009). Contradictoriamente a la acumulación de prolina en plantas estresadas por déficit de agua aquellas plantas estresadas por salinidad suelen acumularla en bajas concentraciones, claro que esto es dependiente de cada especie. También se asocia a que la salinidad reduce la transpiración de las hojas, para Hatami *et al*. (2010) el aumento de la concentración de Na^+ o Cl^- tiende a reducir la tasa de asimilación de CO_2. En un suelo salino, las plantas no pueden captar suficiente agua para satisfacer las demandas de evaporación producto del bajo potencial osmótico del agua del suelo (Nishida, Khan, & Shiozawa, 2009).

2.3 Estudios relacionados a salinidad en Citricos

De forma general, se considera a los cítricos sensibles a salinidad, pues tanto el pomelo (*Citrus paradisi*), la lima (*C. aurantifolia*), la naranja dulce (*C. sinensis*) y (*C. grandis*) son sensibles a la sal en relación con otros cultivos; pues todos ellos tienen un umbral de salinidad de 1,2 a 1,5 dS-m-1, pues las salinidades del suelo que superan 1,5 $dS.m^{-1}$, provocan una disminución del rendimiento aproximadamente 13% a 13,5% con cada aumento adicional de la CE (Ferguson y Grattan, 2005). Dentro de los parámetros de calidad de fruta, la salinidad afecta el porcentaje de zumo al disminuir los sólidos solubles totales (SST) y la acidez titulable (AT) esto sería asociado a la mayor acumulación de Cl^- en comparación con el Na^+, reportes que han sido encontrados por García-Sánchez *et al*.(2003) en limón $Fino_{49}$. A propósito del efecto de salinidad, en genotipos de lima Tahití se observó un incremento de los valores de eficiencia no cuántica del fotosistema (YNPQ), generando un daño en el aparato fotoquímico, pues las plantas utilizan el ciclo de xantofilas para disipar energía lumínica que fue absorbida sin utilizarla en el proceso fotosintético (Alves da Silva, 2020). De la misma manera en un estudio con diferentes portainjertos de lima Tahití tolerantes a salinidad se observaron reducciones en crecimiento generando alteración osmótica por el exceso de sales y sodio por los sucesivos riegos con agua con cargas de sales esto generó cambios fisiológicos, hormonales y nutricionales en las plantas, lo que resultó en una reducción de la fotosíntesis (Lucena Moreira, 2016).

2.4 Situación salinidad en Ecuador con enfoque a la provincia de Manabí

De acuerdo a algunas investigaciones, se ha determinado que se reportan altos niveles de salinización en: Guayas (66 698 ha), El Oro (4 943 ha) y Manabí (1 165 ha), además se expande la formación de suelos halomórficos, por ejemplo en la zona costera específicamente en la cuenca del río Guayas; Los ríos Daule y Babahoyo y sus afluentes, introducen agua del mar, por acción de las mareas afectando los suelos, no solo en las riberas, sino tierra adentro, a través de los esteros y por medio de canales de riego (Pozo *et al*., 2010).

De manera general en Ecuador, la salinidad de los suelos se presentan de manera natural o en algunas ocasiones suele deberse a la actividad intensiva de la explotación agrícola (Proaño *et al*., 2012). Se presenta mayoritariamente en las costas del país y es causado por el manejo inadecuado del agua para riego, así como también el excesivo uso de agroquímicos (Lossois, 2014).

Tabla 1. Estudios referenciales en cuanto a salinidad en Manabí

Tema	Conclusión	Autores
Calidad de los suelos y aguas para riego en áreas cacaoteras de Manabí	Limitaciones de agua dada por el exceso de calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), sodio (Na^+), carbonatos (CO_3=), bicarbonatos (HCO_3-), cloruros (Cl-), total de sólidos disueltos (TSD), conductividad eléctrica (CE) alta	(Motato Alarcón & Pincay Menéndez, 2015)

Calidad de las aguas utilizadas en el riego de cultivos en las áreas de influencia de los ríos Portoviejo y Chico en Manabí	En cuanto a las aguas de los pozos del área del río Portoviejo, hay altas concentraciones (por arriba de los niveles críticos) en TSD, Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, CO3=, HCO.3^{-}, Cl^{-}, B y RAS, y en CE sólo en la Teodomira y Sosote, hallando HCO.3^{-} en el Estero Seco.	(Alarcón *et al*., 2010)
Determinación de la calidad Agrícola de los suelos en la zona del proyecto propósito múltiple Chone Fase II	De acuerdo a la clasificación de los suelos en base a la sodicidad y comparando los valores de CE con las diferentes formas de RAS, el 45.45% de los perfiles estudiados son C1-S1, suelos de baja salinidad y bajo nivel de sodio. El 54.55% son C2-S1, suelos de salinidad media y baja concentración de sodio, lo que permite sembrar cultivos moderadamente tolerantes a las sales.	(Montero, 2018)

Como se ha visto la información referente a la salinidad en cítricos, dentro de la provincia de Manabí, es nula, lo que conlleva a desafiar diversas formas de poder incentivar la investigación en cuanto a temas de salinidad

Investigaciones recientes de tolerancia al estrés salino en algunos genotipos de cítricos, han mostrado variabilidad en el comportamiento de los géneros *Poncirus trifoliata y Fortunella genera* (Ben Yahmed *et al*., 2015). Al parecer la tolerancia del estrés salino, depende exclusivamente de la capacidad de accesión para reducir los procesos metabólicos centrales relacionados a la utilización de carbono y la exclusión de iones tóxicos (Hussain *et al*., 2015). Altas concentraciones de salinidad provocan una reducción excesiva de los parámetros de crecimiento, por ejemplo: afección al peso seco y fresco de la raíz así como crecimiento de nuevos brotes, así también visualizaron que junto con el incremento de la concentración de salinidad también se produjo un aumento del azúcar y la prolina (Bilal *et al*., 2020). En un estudio en condiciones de invernadero donde se evaluó la presión inducida por NaCl en el desarrollo de portainjertos en cítricos de especies Citrumelo, Rough lemon, Volkamer lemon, Rangpur lime y Swingle Citrumelo hallaron efectos sobre el crecimiento de plántulas y sin impacto en la tasa de emergencia final, los menos tolerantes fueron naranja agria y limón rugoso, mientras que, más tolerantes fueron lima Rangpur y citrumelo Swingle (Bilal *et al*., 2020). Diversas investigaciones notifican la vulnerabilidad de los cítricos a la salinidad, por lo que algunos autores se han comprometido en evaluar uno de los cítricos más cultivados a nivel mundial que en este caso es la naranja Washington, los autores encontraron que al ser sometida a salinidad y rociados con la aplicación de glicina-betaína y silicato de potasio, disminuyeron los efectos de salinidad, esto permitió comprobar su efectividad sobre el crecimiento vegetativo logrando mayores rendimientos, basados en este principio ellos recomiendan como una alternativa a daños por salinidad pulverizaciones de silicato de potasio al 0,2% o betaína de glicina al 50 Mm para aliviar el estrés por salinidad (Kheder y Abo- Elmagd, 2021). Como se ha visto los cítricos son capaces de desarrollar diversas estrategias de defensa al estrés salino, entre las que se

destacan la acumulación o exclusión selectiva de iones, biosíntesis de osmoprotectoras y solutos compatibles, la estimulación de enzimas y compuestos antioxidantes, la producción de proteínas reguladoras y poliaminas, la generación de óxido nítrico (NO) y la regulación adaptativa de hormonas vegetales como son el ácido abscísico (ABA), etileno (ET) y los jasmonatos (JA) (Etehadpour *et al*., 2020).

3. Conclusiones

La salinidad tanto en suelos como en agua genera alteraciones en el ciclo de los cultivos de forma general, repercutiendo directamente en crecimiento y afectando producción y calidad de fruta.

El limón sutil es una de las especies más cultivadas en Ecuador y de manera especial en la provincia de Manabí, este cultivo se ve afectado por diversos factores entre ellos la salinidad, se ha visto que uno de los daños irreversibles es el daño a nivel de la nivel de la maquinaria fotosintética; así también estos cultivos pueden llegar a desarrollar mecanismo de tolerancia evasivos como son: cierre estomático que si bien es una respuesta del cultivo para mantener activo sus procesos, esto alteraría la eficiencia fotosintética, lo que repercute en pérdidas en la producción.

Es importante mencionar que no existe información relevante del efecto de salinidad en cítricos, esto sería algo contraproducente, pues la meta es tratar de ser sostenibles en la producción, por lo que este aporte resultaría ser un desafío para los investigadores, pues se debería enfatizar estudios de salinidad desde diversas ópticas en los temas de salinidad en cítricos.

Agradecimientos.

Nuestro agradecimiento al grupo de entidades agrícolas dedicadas a la producción de cítricos, de entidades y autores de investigaciones sobre esta temática que permitieron la realización de este documento sobre compilación bibliográfica actualizada.

Referencias

Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. Agronomy, 7(1), 1–38. https://doi.org/10.3390/agronomy7010018

Alam, A., Ullah, H., Attia, A., & Datta, A. (2020). Effects of Salinity Stress on Growth, Mineral Nutrient Accumulation and Biochemical Parameters of Seedlings of Three Citrus Rootstocks. International Journal of Fruit Science, 20(4), 786–804. https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1674762

Alarcón, N. M., Castillo, R. C., & Chang, M. P. (2010). Calidad de las aguas utilizadas en el riego de cultivos en las areas de influencia de los rios portoviejo y chico en manabi. En XII Congreso Ecuatoriano de la

Ciencia del Suelo (pp. 1–10).

Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. Plant Physiology and Biochemistry, 156(July), 64–77. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042

Barbosa, R. C. A., Brito, M. E. B., Sales, G. N. B., Moreira, R. C. L., Filho, W. S. S., Sá, F. V. da S., & Resumo: (2015). tolerância de tangerineira ao estresse salino na fase de porta-enxerto (pp. 207–227).

Ben Yahmed, J., Novillo, P., Garcia-Lor, A., Salvador, A., Ben Mimoun, M., Luro, F., … Morillon, R. (2015). Salt tolerance traits revealed in mandarins (Citrus reticulata Blanco) are mainly related to root-to-shoot Cl- translocation limitation and leaf detoxification processes. Scientia Horticulturae, 191, 90–100. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.05.005

Bilal, H. M., Zulfiqar, R., Adnan, M., Umer, M. S., Islam, H., Zaheer, H., … Ahmad, I. (2020). Impact of salinity on citrus production; A review. International Journal of Applied Research, 6(October), 173–176.

Brito, M. E. B., da Silva, E. C. B., Fernandes, P. D., Filho, W. dos S. S., Filho, M. A. C., da Silva Sá, F. V., … Barbosa, R. C. A. (2015). Salt balance in substrate and growth of “Tahiti” acid lime grafted onto Sunki mandarin hybrids under salinity stress. Australian Journal of Crop Science, 9(10), 954–961.

Chen, Y., Barzee, T. J., Zhang, R., & Pan, Z. (2019). Citrus. Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814138-0.00009-5

De Freitas, P. A. F., de Carvalho, H. H., Costa, J. H., Miranda, R. de S., Saraiva, K. D. da C., de Oliveira, F. D. B., … Gomes-Filho, E. (2019). Salt acclimation in sorghum plants by exogenous proline: physiological and biochemical changes and regulation of proline metabolism. Plant Cell Reports, 38(3), 403–416. https://doi.org/10.1007/s00299-019-02382-5

De Souza Miranda, R., Mesquita, R. O., Costa, J. H., Alvarez-Pizarro, J. C., Prisco, J. T., & Gomes-Filho, E. (2017). Integrative control between proton pumps and SOS1 antiporters in roots is crucial for maintaining low Na+ accumulation and salt tolerance in ammonium-supplied Sorghum bicolor. Plant and Cell Physiology, 58(3), 522–536. https://doi.org/10.1093/pcp/pcw231

Etehadpour, M., Fatahi, R., Zamani, Z., Golein, B., Naghavi, M. R., & Gmitter, F. (2020). Evaluation of the salinity tolerance of Iranian citrus rootstocks using morph-physiological and molecular methods. Scientia Horticulturae, 261(April), 109012. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109012

FAO. (2015). Tierras y Aguas.

FAO. (2019). La producciòn de citricos a nivel mundial.

Fedexpor. (2019). Exportaciones de cítricos ecuatorianas. Guayaquil, Ecuador: Federación Ecuatoriana de Exportadores.

Ferguson, L., & Grattan, S. R. (2005). How salinity damages citrus: Osmotic effects and specific ion toxicities. HortTechnology, 15(1), 95–99. https://doi.org/10.21273/horttech.15.1.0095

Flowers, T. J., Munns, R., & Colmer, T. D. (2015). Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. Annals of Botany, 115(3), 419–431. https://doi.org/10.1093/aob/mcu217

García-Sánchez, F., Carvajal, M., Porras, I., Botía, P., & Martínez, V. (2003). Effects of salinity and rate of irrigation on yield, fruit quality and mineral composition of “Fino 49” lemon. European Journal of Agronomy, 19(3), 427–437. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00138-7

Hatami, E., Esna-Ashari, M., & Javadi, T. (2010). Effect of salinity on some gas exchange characteristics of grape (Vitis vinifera) cultivars. International Journal of Agriculture and Biology, 12(2), 308–310.

Hussain, S., Morillon, R., Anjum, M. A., Ollitrault, P., Costantino, G., & Luro, F. (2015). Genetic diversity revealed by physiological behavior of citrus genotypes subjected to salt stress. Acta Physiologiae Plantarum, 37(1). https://doi.org/10.1007/s11738-014-1740-4

INEC. (2018). Superficie, Producción y Ventas , según región y Provincia Limón (Fruta fresca). https://www.ecuadorencifras.gob.ec

INIAP. (2019). Cultivares de cítricos en invernadero bajo condiciones de estrés por salinidad. http://www.iniap.gob.ec

Kheder, A. M. A., & Abo- Elmagd, A. (2021). Improving Vegetative Growth and Productivity of Navel Orange (Citrus sinensis L.) Trees under Salt Affected Soil Using Glycinebetaine and Potassium Silicate. Journal of Plant Production, 12(3), 279–286. https://doi.org/10.21608/jpp.2021.158995

Mahmoud, L. M., Dutt, M., Vincent, C. I., & Grosser, J. W. (2020). Salinity-induced physiological responses of three putative salt tolerant citrus rootstocks. Horticulturae, 6(4), 1–16. https://doi.org/10.3390/horticulturae6040090

Montero, M. E. P. (2018). Determinación de la calidad agrícola de los suelos en la zona del proyecto propósito múltiple chone fase II.

Moreira, R. C. L. (2016). Tolerância de mudas de lima ácida ‘Tahiti’ em distintos porta-enxertos à salinidade da água. Recuperado de http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/554/1/Rômulo

carantino lucena moreira - dissertação ppgsa acadêmico 2016..pdf

Motato Alarcón, N., & Pincay Menéndez, J. (2015). Calidad de los suelos y aguas para riego en áreas cacaoteras de Manabí. La Técnica: Revista de las Agrociencias. ISSN 2477-8982, (14), 6. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i14.573

Munns, R., & Gilliham, M. (2015). Salinity tolerance of crops - what is the cost? New Phytologist, 208(3), 668–673. https://doi.org/10.1111/nph.13519

Navada, S., Vadstein, O., Gaumet, F., Tveten, A. K., Spanu, C., Mikkelsen, Ø., & Kolarevic, J. (2020). Biofilms remember: Osmotic stress priming as a microbial management strategy for improving salinity acclimation in nitrifying biofilms. Water Research, 176, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115732

Nishida, K., Khan, N. M., & Shiozawa, S. (2009). Effects of salt accumulation on the leaf water potential and transpiration rate of pot-grown wheat with a controlled saline groundwater table. Soil Science and Plant Nutrition, 55(3), 375–384. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00368.x

Organización Mundial de Comercio. (2019). Tendencias de la producción de cítricos en el mundo.

Pan, T., Liu, M., Kreslavski, V. D., Zharmukhamedov, S. K., Nie, C., Yu, M., … Shabala, S. (2021). Non-stomatal limitation of photosynthesis by soil salinity. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 51(8), 791–825. https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1735231

Pereira, F. A. d. L., de Medeiros, J. F., Gheyi, H. R., Dias, N. da S., Preston, W., & Vasconcelos, C. B. e. L. (2017). Tolerance of melon cultivars to irrigation water salinity. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental, 21(12), 846–851. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n12p846-851

Pérez, J., Robles, J., Tovar, J., & Botía, P. (2009). Response to drought and salt stress of lemon “Fino 49” under field conditions: Water relations, osmotic adjustment and gas exchange. Scientia Horticulturae, 122(1), 83–90. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.04.009

Pozo, W., Sanfeliu, T., & Carrera, G. (2010). Variabilidad Espacial Temporal de la Salinidad del Suelo en los Humedales de Arroz en la Cuenca Baja del Guayas , Sudamérica Resumen. Revista Tecnológica-ESPOL, 23(1), 73–79. Recuperado de http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/about/submissions

Proaño, J., Suárez, C., & Briones, C. (2012). Estudios de Metodologías para la Validación de un Modelo Predictivo para el Manejo y Control de la Salinidad del Suelo y del Agua en la Península de Santa Elena, Provincia del Guayas, Ecuador. En XIII Congreso ecuatoriano de la ciencia del suelo (p. 10). Recuperado

de http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/4-Metodologias-para-la-validacion-Proano-J.pdf

Shahid, M. A., Sarkhosh, A., Khan, N., Balal, R. M., Ali, S., Rossi, L., … Garcia-Sanchez, F. (2020). Insights into the physiological and biochemical impacts of salt stress on plant growth and development. Agronomy, 10(7). https://doi.org/10.3390/agronomy10070938

Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. Saudi Journal of Biological Sciences, 22(2), 123–131. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001

Silva, E. N. da, Ribeiro, R. V., Ferreira-Silva, S. L., Viégas, R. A., & Silveira, J. A. G. (2011). Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. Scientia Agricola, 68(1), 62–68. https://doi.org/10.1590/s0103-90162011000100010

Storey, R., & Walker, R. R. (1987). Some effects of root anatomy on K, Na and Cl loading of citrus roots and leaves. Journal of Experimental Botany, 38(11), 1769–1780. https://doi.org/10.1093/jxb/38.11.1769

Syvertsen, J. P., & Garcia-Sanchez, F. (2014). Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. Environmental and Experimental Botany, 103, 128–137. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.09.015

Tainá Alves da Silva. (2020). Ecofisiologia de Lima ácida tahiti condicionada a porta- enxertos e salinidade da água na fase reprodutiva. Journal of Chemical Information and Modeling. Recuperado de https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/13907/2/FisiologiaLimaAcidaTahiti.pdf

Van Zelm, E., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020). Salt Tolerance Mechanisms of Plants. Annual Review of Plant Biology, 71, 403–433. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100005

Vázquez, M., Dell Amico, R., Pérez, M., & Betancourt, M. (2018). Estrés hídrico y salino en cítricos . Review Water and saline stress on citrus . Strategies for reducing plant damages. Cultivos Tropicales, 38(February), 65–74.

Velmurugan, A., Swarnam, P., Subramani, T., Meena, B., & Kaledhonkar, M. . (2020). Water demand and salinity. En Desalination - Challenges and Opportunities. IntechOpen.

Wang, H., Tang, X., Shao, C., Shao, H., & Wang, H. (2014). Molecular cloning and bioinformatics analysis of a new plasma membrane na+/h+ antiporter gene from the halophyte Kosteletzkya virginica. Scientific World Journal, 2014. https://doi.org/10.1155/2014/141675

Wu, H., Hill, C. B., Stefano, G., & Bose, J. (2021). Editorial: New Insights Into Salinity Sensing, Signaling and Adaptation in Plants. Frontiers in Plant Science, 11(March), 1–4. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.604139

Xiao, J. P., Zhang, L. L., Zhang, H. Q., & Miao, L. X. (2017). Identification of Genes Involved in the Responses of Tangor (C. reticulata × C. sinensis) to Drought Stress. BioMed Research International, 2017. https://doi.org/10.1155/2017/8068725

Zhang, M., Liu, Y., Han, G., Zhang, Y., Wang, B., & Chen, M. (2021). Salt tolerance mechanisms in trees: research progress. Trees - Structure and Function, 35(3), 717–730. https://doi.org/10.1007/s00468-020-02060-0

Zhu, J. K. (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants. Annual Review of Plant Biology, 53, 247–273. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329