

EFECTO DE LA SALINIDAD POR CLORURO DE SODIO SOBRE EL BALANCE DE NUTRIENTES EN PLANTAS DE LULO (*Solanum quitoense* L.)

Salinity effect of sodium chloride on nutrient balance in lulo plants (*Solanum quitoense* L.)

Fanor Casierra Posada¹; Georg Ebert² y Peter Lüdders³

RESUMEN

Se analizaron las concentraciones de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y Cl^- en hojas, tallos y raíces de plantas de Lulo (*Solanum quitoense* L.) que crecieron bajo invernadero en condiciones salinas. El ensayo se realizó en la Sección de Fruticultura del Instituto de Horticultura de la Universidad Humboldt de Berlín. Mediante este estudio, se evaluó la influencia de la salinidad por NaCl sobre la toma de los elementos estudiados, sobre la acumulación de Cl^- y Na^+ en los tejidos de las plantas, así como la relación del Sodio con los demás cationes acumulados en los tejidos vegetales. Después de la germinación de las semillas, se regaron las plántulas con una solución de Wuxal N (Schering, Alemania) a una concentración de 1 ppm. Seis semanas después de germinadas, se transplantaron a materas que contenían cuarzo lavado y, luego del establecimiento de las plantas en el cuarzo, se inició el tratamiento con soluciones de NaCl en concentraciones de 30 y 60 mM de NaCl además de la solución de Wuxal. Los testigos se regaron, sólo, con la solución de Wuxal N (1 ppm). Para el análisis de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ , se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica; el Cl^- se analizó mediante un clorímetro. La acumulación de Cl^- y Na^+ en los tejidos analizados presentaron una tendencia escalonada típica de acuerdo con la concentración de NaCl en la solución nutritiva. La sal indujo una reducción de la concentración de K^+ en hojas y tallos. El valor de las relaciones Na/Ca, Na/Mg, Na/K y Na/Ca+Mg+K se incrementó en hojas y tallos con la concentración de NaCl en la solución. El Na^+ se acumuló en mayor proporción en las raíces que en las hojas y los tallos. Con base en los resultados expuestos, se puede catalogar al Lulo, al igual que otras Solanáceas, como una planta que presenta una tolerancia moderada a la salinidad por NaCl.

Palabras claves: Solanaceae, cationes, aniones, estrés, sodio, cloro.

SUMMARY

Concentrations of K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ and Cl^- were analyzed in leaves, shoots and roots of lulo (*Solanum quitoense* L.). Plants were grown under salt stress at greenhouse conditions. The experiment site was the Horticulture Institute of the Humboldt University in Berlin (Germany). The influence of NaCl salinity on the uptake of analyzed ions, salinity accumulation and distribution into the plant tissues and ratio ions were also researched

throughout this experiment. Plants were supplied with a nutrient solution of Wuxal (1 ppm) (Schering, Germany). All plants were transferred to bigger pots with quartz sand, six weeks after germination. After a one-week adaptation period, the salt treatments were initiated with 30 and 60 mM NaCl in Wuxal solution. Controls were supplied only with Wuxal solution 1 ppm. K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and Na^+ concentrations were determined through atomic absorption spectrophotometer. Cl^- was conclusive through the use of chloride meter. Cl^- and Na^+ accumulation in tissues presented a trend similar to the NaCl concentration in the nutrient solution. The salt lessened K^+ concentration in leaves and shoots. Na/Ca, Na/Mg, Na/K and Na/Ca+Mg+K ratios were increased in leaves and shoots throughout the NaCl concentration in the nutrient solution. Na^+ accumulation was greater in roots than in shoots and leaves. These results suggest that Lulo might be a moderately salt-tolerant plant comparable to other Solanaceae species.

Key words: Solanaceae, anions, cations, stress, sodium, chloride.

INTRODUCCION

Según reporte de Estrada (1992), el Lulo es una planta semiperenne con una altura del tallo principal comprendida entre 2,5 y 3,0 m con sistema de raíces superficiales que conforman una rizosfera en los primeros 30 cm del suelo. Por lo regular, las plantas presentan un tallo erecto o semierecto y, sólo, algunos ecotipos presentan tallo decumbente. La presencia de espinas es un factor inherente al ecotipo, ya que *Solanum quitoense* Var. *septentrionale* presenta espinas, mientras que *Solanum quitoense* Var. *quitoense* carece de ellas. Las plantas presentan pubescencia que difiere, entre los cultivares, en el color, longitud e intensidad de los tricomas.

Luego del transplante, se presenta la floración entre 130 y 192 días y, dependiendo del ecotipo, la cosecha se inicia de 250 a 330 días después del transplante; a pesar de la abundante floración, no todas las plantas de Lulo presentan una fructificación alta. Cada planta puede presentar de 32 a 44 inflorescencias por año y de 7 a 8 flores por inflorescencia. Una planta puede producir de 40 a 600 frutos por año y el cultivo puede dar un rendimiento de 1,5 a 9,0 Ton / ha anual.

El mismo autor reporta varios factores que limitan la expresión genética de las plantas de Lulo, entre los cuales, se encuentran la incidencia de plagas y enfermedades, una inadecuada nutrición y la adaptabilidad de las plantas al nuevo ecosistema, pues este culti-

¹ Ph.D., UPTC-FACIAT, Apartado Aéreo 661, Tunja - Boyacá - Colombia. E-mail: fanor@gmx.net

² Dr. habil., HU-Berlin, Albrecht-Thaer-Weg 3, 14195, Berlin - Alemania. E-mail: doc.ebert.berlin@t-online.de

³ Profesor Titular, HU-Berlin, Albrecht-Thaer-Weg 3, 14195, Berlin - Alemania. E-mail: peter@luedders.de

vo se ha tomado, en muchos casos, como colonizador de nuevas áreas. A estos factores, podríamos adicionar los efectos ocasionados por la salinidad, pues, según reporte de Vose (1983), citado por Marschner (1995), por encima del 33% del suelo irrigado en el mundo, presenta problemas de sales. En la geografía colombiana, se pueden encontrar alrededor de 600.000 hectáreas afectadas por sales, que corresponden al 0,52 % de la superficie total del país; según Castro Franco (1998), estas áreas salinas están concentradas, básicamente, en la región denominada «Trópico Cálido». Específicamente, en el departamento de Boyacá, se presenta un área de, aproximadamente 1000 hectáreas, con conductividad eléctrica superior a 5 dS.m⁻¹ y valores de pH inferiores a 4,5, originado por su alto contenido de sulfatos. Estos suelos se encuentran ubicados, principalmente en el distrito de riego «Usochicamocho», tienen un origen lacustre hidrotermal y corresponden a suelos sulfatados ácidos actuales y pseudosulfatados ácidos.

Con una saturación elevada de sales en el suelo, la toma de agua por las plantas se ve disminuida mediante la reducción del potencial osmótico en el medio externo, lo cual se refleja como una pérdida de rigidez de los tejidos del vegetal; se presenta, también, una disminución del potencial osmótico citoplasmático, como sucede en el caso del cultivo de plantas en cuyas soluciones nutritivas se encuentra disuelta alguna concentración de NaCl, lo cual ocasiona la entrada de la sal al tejido del vegetal. El desequilibrio en el potencial osmótico entre la planta y su medio externo tiende a ajustarse, como primera respuesta, a la situación de estrés ocasionada por la sal.

La toma de iones por la planta es, en principio, selectiva y se puede llevar a cabo de manera activa o pasiva. Al respecto, según Schlee (1992), citado por Kreeb (1996), existen diferencias entre las plantas tolerantes y sensibles a las concentraciones de sales.

Kreeb (1996) y Bohnert *et al.* (1999) resumen algunos de los efectos, a nivel fisiológico y molecular, de la salinidad sobre las plantas y reportan que, con una concentración excesiva de NaCl, en algunos casos, predomina el transporte activo. El flujo continuado de iones hacia las ramas es de suma importancia, pues, en el caso de algunas halófitas, ocasiona una alta concentración de Cl⁻ en las hojas; para el caso de plantas no halófitas, se sabe que, mediante concentraciones altas de Na⁺, se reduce la toma de K⁺ y, por lo tanto, los aportes de K⁺ pueden tener resultados positivos. A pesar de la selectividad de las plantas en cuanto a la toma de iones, bajo condiciones de salinidad, ésta no impide el incremento de la concentración de sales en los tejidos vegetales. La concentración de las sales es, generalmente, mayor en las vacuolas que en el protoplasma, especialmente si existe un mecanismo activo que transporte los iones hacia el interior de la vacuola, como en el caso del Na⁺ y el Cl⁻. El balance osmótico entre el protoplasma y las vacuolas, donde se acumulan las sales, se realiza mediante sustancias compatibles sintetizadas de manera especial, como la Prolina. La relación Na/K en los cloroplastos depende de muchos factores, pero, normalmente, su valor se encuentra alrededor de cinco. Por su parte Lüttge (1993) comenta que la base fundamental de la adaptación de las plantas al estrés salino es el control del transporte de las sales a través del Plasmalema y el Tonoplasto, por su participación directa en el proceso de compartimentación.

Scholberg y Locascio (1999) analizaron, entre otros, el efecto de la conductividad eléctrica del agua de riego sobre la altura de plantas, peso seco, área foliar y toma de minerales, en plantas de tomate y frijol. Según sus resultados, el potencial hidráulico de las hojas y el peso seco de las plantas de tomate decreció

linealmente con el incremento de la conductividad eléctrica en el agua de riego. La concentración de Na⁺ en los tejidos, también, se vio incrementada, tanto en frijol, como en tomate, con el incremento de la salinidad.

Con el fin de hacer un seguimiento de la actividad de la Nitrato reductasa, de la Glutaminosintetasa, la asimilación de Amonio y la acumulación de Prolina en tejidos de Marañón (*Anacardium occidentale* L.) bajo condiciones salinas, Almeida-Viégas y Gomes Da Silveira (1999) realizaron un ensayo manteniendo las plantas en soluciones con 0, 50 y 100 mol NaCl m⁻³. Como respuesta a la salinidad, la actividad de la Nitrato reductasa se redujo un 70%, tanto en las hojas, como en las raíces de las plantas estudiadas. Estos autores indican, también, que los tratamientos con sales inducen un comportamiento diferente entre las hojas y las raíces, en cuanto a la asimilación de Amonio y el metabolismo de las proteínas; de esta manera, tanto los aminoácidos totales, como la Prolina libre, se incrementaron en las hojas. Almeida-Viégas *et al.* (1999) observaron los mecanismos moleculares de los efectos de la salinidad sobre el crecimiento de plantas de Marañón y la toma y la reducción asimilatoria de NO₃⁻. Un día después de iniciado el tratamiento con las sales, las plantas exhibieron una reducción del 50% en la tasa de transpiración; el contenido de NO₃⁻ en las hojas y la actividad de la Nitrato reductasa en las mismas se redujeron como efecto de la salinidad.

Se han realizado algunos ensayos para analizar el efecto de la salinidad sobre la fotosíntesis. Delfine *et al.* (1999) estudiaron la difusión del CO₂ y la fotosíntesis en hojas de plantas de espinaca afectadas por la salinidad por NaCl. Estos autores reportan una inhibición de la fotosíntesis como resultado de una disminución de la entrada de CO₂ a través de los estomas y su conducción en el mesófilo, situación que se puede revertir colocando las plantas en un medio libre de sales; sin embargo, cuando el contenido de Na⁺ en las hojas es superior al 3% de la materia seca, el efecto dañino de las sales no es reversible. Schmutz (1998) realizó mediciones de asimilación de CO₂ y transpiración en varios cultivares de mango injertados y sin injertar, bajo condiciones salinas; como resultado no se encontró significancia en la asimilación del Dióxido de Carbono en las plantas sin injertar e inducida por la salinidad; sin embargo, las plantas injertadas presentaron una disminución tanto en la asimilación del CO₂ como, también, en la transpiración, como respuesta a la presencia de NaCl en el medio.

Enéas Fihlo *et al.* (1995) encontraron que la salinidad no afecta *in vivo* la actividad enzimática de la Λ - y la Ξ -Galactosidasa en los cotiledones de *Vigna unguiculata* L., lo cual soporta la hipótesis de que, *in vivo*, los efectos de la salinidad deben ser a nivel de Solubilización/Activación o de renovación de estas enzimas en los cotiledones. Trabajando con la misma planta que el autor anterior, Gomes Fihlo *et al.* (1996) encontraron que el desarrollo de la actividad de la Ribonucleasa total o específica en función del estrés salino en diferentes partes de la planta en estudio no permite sustentar la hipótesis de que existe una correlación entre la actividad de la Ribonucleasa y la tolerancia a las sales y de que, por lo tanto, esta enzima pueda utilizarse como marcador bioquímico, para seleccionar los cultivares de *Vigna unguiculata* con base en su tolerancia a la salinidad. Brihlante De Oliveira-Neto *et al.* (1998) encontraron, también, en cotiledones de *Vigna unguiculata* L. que la Λ -Amilasa se sintetiza, de nuevo durante la germinación de las semillas y el establecimiento de las plántulas germinadas, pero el estrés por sales reduce su síntesis.

Hernandez *et al.* (1993), citados por Marschner (1995), reportan una producción elevada de radicales Superóxido y una peroxidación de lípidos en hojas de guisante que se desarrollan en condiciones de toxicidad por NaCl, lo cual, según ellos, sugiere un estrés oxidativo a nivel de las mitocondrias.

Mediante los resultados del presente ensayo, se pretende interpretar la respuesta de las plantas de lulo cuando son desarrolladas en condiciones de salinidad, con respecto al efecto de los iones que inducen desordenes fisiológicos en ellas, sobre la acumulación y distribución de los minerales en los tejidos vegetales. De esta manera, se podrían proponer investigaciones futuras que conlleven a una mejor comprensión de la respuesta fisiológica de algunos frutales tropicales de importancia económica que crecen bajo condiciones de estrés salino. De esta manera, se tendrían una serie de argumentos que serían de gran ayuda para afrontar el problema de la salinidad en condiciones tropicales, como complemento a las enmiendas orientadas a la recuperación de los suelos salinos y sódicos.

MATERIALES Y METODOS

Las semillas de Lulo se obtuvieron de plantas sanas en un cultivo localizado en el departamento de Boyacá. Para su germinación, se colocaron en un contenedor con cuarzo lavado. Las condiciones dentro del invernadero fueron, 25°C/20°C (día / noche) de temperatura y una humedad relativa de 60% (\pm 10%).

Las plántulas se regaron con una solución de Wuxal (Schering, Alemania) 1 ppm. Seis semanas después de la germinación, se seleccionaron las plántulas por su uniformidad y se transplantaron a recipientes individuales. Después de un período de adaptación de una semana, se iniciaron los tratamientos con el NaCl, incrementando, lentamente, la concentración de la sal en la solución nutritiva hasta alcanzar concentraciones finales de 30 mM y 60 mM de NaCl. La conductividad eléctrica de la solución control (Wuxal 1 ppm), para las soluciones que contenían 30 mM y 60 mM de NaCl fue de 0,8 mS cm⁻¹, y 3,9 y 6,8 mS cm⁻¹. Los tratamientos se continuaron durante 10 semanas y, posteriormente, se tomaron de las plantas, las raíces, los tallos y las hojas.

La producción de biomasa se determinó por secado en una mufla a 80°C, hasta que el peso de las muestras no se alterara por pérdida de agua.

La determinación de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y Na⁺ se realizó con base en materia seca. Las muestras de hojas tallos y raíces se pulverizaron y se realizó la extracción de los cationes por dilución en HCl. Una vez realizada la extracción, se diluyeron las soluciones y se realizaron las lecturas con la ayuda de un espectrofotómetro de absorción atómica (905AA, GBC, Australia). El Cl⁻ se determinó según el procedimiento sugerido por La Croix *et al.* (1970), citado por Ebert *et al.* (1999), mediante un clorímetro (6610, Eppendorf, Alemania), por titulación de la muestra en una solución de AgNO₃.

El ensayo tuvo un diseño completamente al azar, con cinco replicaciones por tratamiento. La unidad experimental estuvo constituida por una planta. El análisis estadístico se hizo mediante la aplicación SPSS 8,0. En los gráficos, se representa la desviación estandar en cada columna y el resultado de la prueba de Student-Newman-Keuls.

RESULTADOS

El contenido de Cl⁻ y Na⁺ determinados en las raíces, tallos y hojas sigue una distribución de acuerdo con la concentración de NaCl en la solución nutritiva, con la cual fueron regaron las plantas, como se muestra en la Figura 1, para el caso del Sodio.

Las plantas tratadas con 30 mM de NaCl presentaron una concentración de Calcio en todos los tejidos analizados, incluso superior a la presentada por los testigos, pero, en raíces y hojas, el tratamiento con 60 mM de NaCl indujo una reducción de éste elemento, por debajo de la concentración que presentaron los testigos sin la sal. En los tallos, el contenido de Calcio fue superior en las plantas tratadas con las dos dosis de NaCl, en comparación con los testigos.

Para el caso del contenido de Magnesio en los tejidos vegetales, se encontró una relación directa entre el contenido de NaCl en la solución nutritiva y la concentración de este elemento en las raíces y en los tallos de las plantas tratadas, por lo tanto, los controles presentaron una concentración baja del catión en comparación con la encontrada en las plantas tratadas con las dos diferentes concentraciones de la sal en la solución nutritiva. En las hojas, la concentración más elevada del catión la presentaron las plantas tratadas con 30 mM de NaCl, seguidas, en orden descendente, por las plantas tratadas con 60 mM de la sal y el control (Figura2).

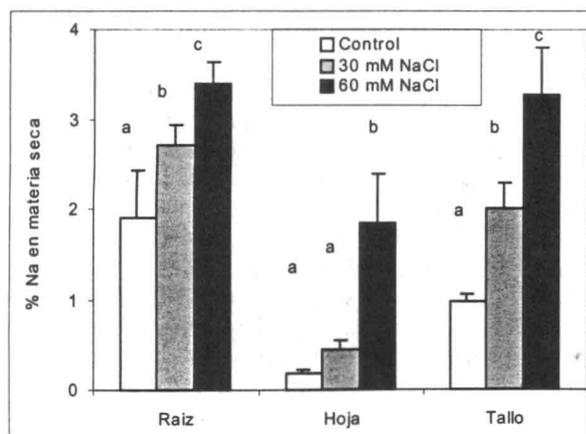


Figura. 1. Contenido de Sodio en materia seca de tejidos de lulo en condiciones de salinidad por Cloruro de Sodio

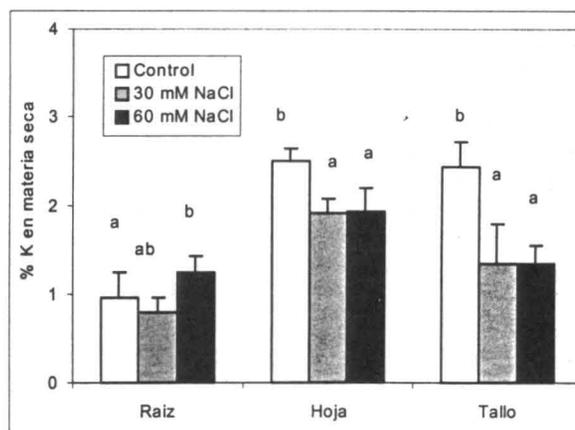


Figura. 2. Contenido de Potasio en materia seca de tejidos de lulo en condiciones de salinidad por Cloruro de Sodio

El valor de la relación Na/Ca en todos los tejidos analizados presentó un ascenso en la medida en que la concentración de NaCl en la solución nutritiva era más alta. Es de anotar, que, en las hojas, la dosis de 60 mM de NaCl indujo a un valor de la relación Na/Ca de, aproximadamente, cinco veces mayor que el valor obtenido con el tratamiento con 30 mM de NaCl y 12 veces mayor que el valor de la relación obtenido en el control (Figura 3).

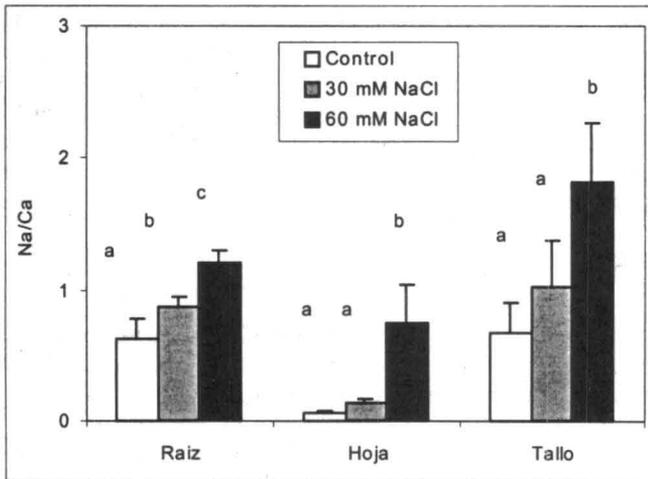


Figura 3. Relación Na/Ca en tejidos de Lulo bajo condiciones de salinidad por Cloruro de Sodio

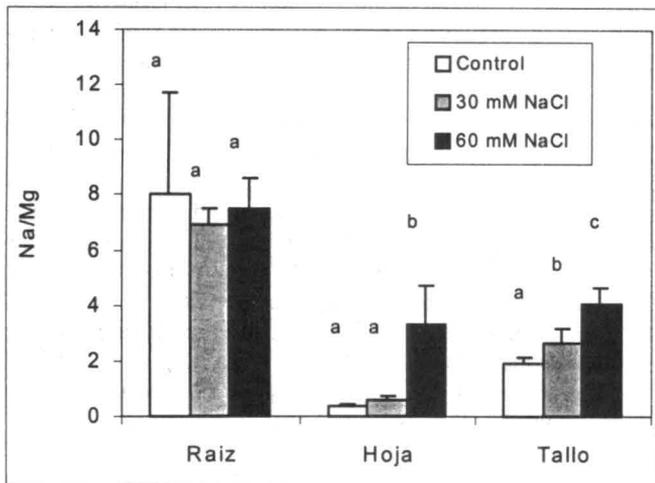


Figura 4. Relación Na/Mg en tejidos de Lulo en condiciones de salinidad por Cloruro de Sodio

En las hojas y tallos, la relación Na/Mg presentó valores ascendentes, al igual que la relación Na/Ca, de acuerdo con la concentración de la sal en la solución nutritiva. En el caso de las hojas, llama la atención que el tratamiento con 60 mM de NaCl indujo una diferencia considerable en el valor de la relación Na/Mg, con respecto al tratamiento con 30 mM de NaCl y el control; 60 mM de NaCl indujo un valor de la relación Na/Mg de, aproximadamente, cinco veces mayor que el obtenido con 30 mM de NaCl y nueve veces mayor que el presentado por el testigo (Figura 4). Las raíces no presentaron una tendencia clara de esta relación que indique un efecto directo de los tratamientos con la sal sobre el valor de la relación Na/Mg en ellas.

De igual manera, para el caso de los tejidos de hojas y tallos en los resultados de las relaciones anteriores, el valor de la relación

Na/K tuvo valores que se incrementaban con el contenido de NaCl en la solución nutritiva, como lo muestra la Figura 5.

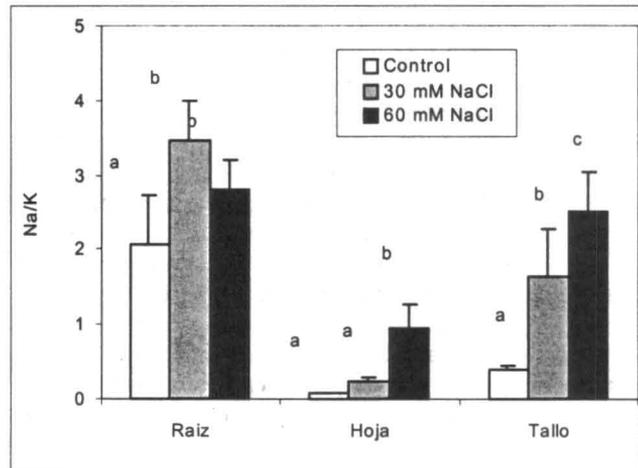


Figura 5. Relación Na/K en tejidos de Lulo en condiciones de salinidad por Cloruro

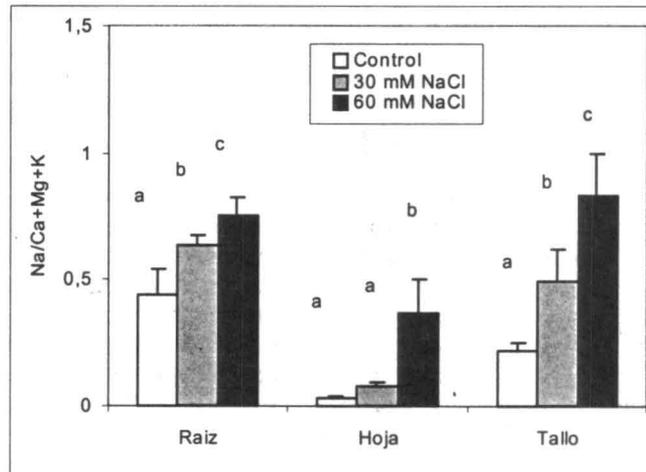


Figura 6. Relación Na/Ca+Mg+K en tejidos de Lulo en condiciones de salinidad por Cloruro de Sodio

El valor de la relación Na/Ca+Mg+K presentó, en todos los tejidos analizados, valores que estaban en proporción directa con el contenido de NaCl en la solución nutritiva, como lo muestra la Figura 6.

En la Figura 7, se puede observar que la acumulación de Cloro en los tejidos foliares fue más elevada en comparación con su acumulación en raíces y tallos, tanto en las plantas tratadas con NaCl, como en los testigos y, además, se observó, durante el desarrollo del ensayo, que las plantas exhibían necrosis foliar intervenal y un encurvamiento hacia abajo, a lo largo de la nervadura central de las hojas; éstos síntomas se acentuaron en la medida que la concentración de NaCl en la solución nutritiva era más alta, lo cual sugiere que los daños en las hojas hayan sido causados por la concentración del anión en el tejido foliar. En cuanto a la acumulación relativa del Sodio en los tejidos analizados, se presentó una concentración alta de este catión en las raíces de las plantas testigo, en comparación con las plantas tratadas con NaCl, lo cual se debió a que el agua de Berlín contiene concentraciones elevadas de este catión; sin embargo, llama la atención que las plantas tra-

tadas presentaron una concentración menor de Sodio en las raíces, en comparación con las plantas control.

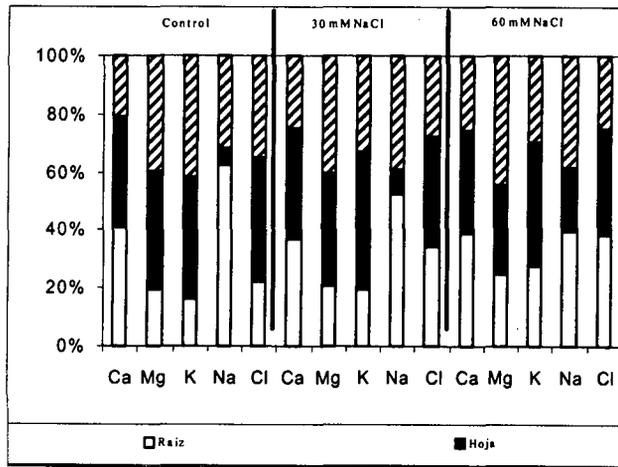


Figura 7. Distribución porcentual de la concentración de iones en tejidos de Lulo bajo condiciones de salinidad por NaCl

DISCUSION

En el presente trabajo, la concentración de NaCl en la solución nutritiva indujo una reducción de la concentración de K^+ en tallos y hojas de Lulo, lo cual coincide con el reporte de Kreeb (1996). Además, en estos tejidos, se produjo un incremento de la relación Na/K, como consecuencia de la concentración de NaCl en el medio en el que se desarrollaron las plantas. El mismo autor cita algunos estudios en donde se reporta una relación Na/K de alrededor de cinco, para plantas no halófitas en condiciones de salinidad. Para el caso del presente ensayo, el resultado de esta relación estuvo, en tallos y hojas, por debajo de este valor, aún con la concentración más elevada de NaCl utilizada en el experimento.

En el presente ensayo, la concentración de Na^+ en las hojas de Lulo fue inferior al 3%, aún con el tratamiento con 60 mM de NaCl. Este valor lo reportan Delfine *et al.* (1999) como el umbral, por sobre el cual no es posible lograr la recuperación de las funciones normales de plantas de espinaca desarrolladas en condiciones de salinidad, luego de trasladarlas a un medio libre de Cloruro de Sodio. De esta forma podemos suponer que las plantas de Lulo presentan cierta tolerancia a la salinidad por Cloruro de Sodio, al igual que las plantas de tomate, como lo reportan Ebert *et al.* (1999).

La síntesis de proteínas, también, se ve afectada como consecuencia del estrés causado por la salinidad en las plantas, como lo discute ampliamente Marschner (1995). Según éste autor, la síntesis de proteínas se reduce, posiblemente, como consecuencia de la acumulación de Cl^- en las hojas de plantas sensibles a la salinidad, como la soya. Posiblemente, el desbalance en la relación Na/K tiene, también, un efecto directo sobre la reducción de la síntesis de proteínas, como lo reporta el mismo autor. Una reducción de la síntesis de proteínas afecta directamente el crecimiento, lo cual se ve reflejado en una disminución de la producción de materia seca en la planta. En el presente estudio, la concentración de NaCl en la solución nutritiva redujo la producción total de materia seca en las plantas; esta reducción en la producción de materia seca fue más acentuada en las hojas que en los tallos y en las raíces; por lo tanto, el control, el tratamiento con 30 mM de NaCl y el tratamiento

con 60 mM de NaCl presentaron valores de 55,5; 51,5; y 49,7 gr de materia seca total / planta, respectivamente, que indujeron una reducción en la producción total de biomasa por planta de 7,2 % y 10,3 % para los tratamientos con 30 y 60 mM de NaCl respectivamente en relación con el control. Al respecto, Wahome *et al.* (2000) reportan, también, una reducción en la producción de materia seca de plantas de rosa como efecto de la salinidad por NaCl y en su ensayo la disminución de la producción de materia seca fue más acentuada en las raíces que en otros órganos de las plantas analizadas. Los tratamientos con 30 y 60 mM NaCl presentan una conductividad eléctrica de 3,9 y 6,8 $dS \cdot m^{-1}$ respectivamente, que se encuentran en la categoría S2 (4 - 8 $dS \cdot m^{-1}$), la cual, según Castro (1998) corresponden a las características de un suelo medianamente salino.

Otro factor decisivo en la producción de materia seca en los vegetales es la tasa fotosintética, mediante la cual se producen, entre otras, los asimilatos necesarios para el desarrollo de la planta. La reducción de la producción de materia seca en las plantas del presente ensayo pudo estar relacionada, también, con la reducción en la fotosíntesis como consecuencia de una disminución de la producción de Clorofila en las hojas, como efecto de la salinidad por Cloruro de Sodio, según lo reportan Ebert *et al.* (1999) en plantas de lulo expuestas a la salinidad. Estos autores reportan que la salinidad por Cloruro de Sodio reduce la concentración de las Clorofilas *a* y *b*, así como la producción de materia seca en plantas de Lulo. La reducción del contenido de Clorofila decrece considerablemente, la posibilidad de absorción de la luz y de la transmisión de la energía lumínica entre los fotosistemas integrados al proceso de fotosíntesis. Brugnoli y Laureti (1991), citados por Almeida Viégas *et al.* (1999) reportan que el primer efecto de la salinidad sobre la fotosíntesis está relacionado con el cierre de los estomas, a pesar de lo cual, las reacciones en los cloroplastos no se ven afectados como consecuencia de la salinidad, hasta cuando ésta no influya negativamente sobre otros procesos en el vegetal.

Los valores ascendentes de las relaciones Na/Ca, Na/Mg y Na/K de los tejidos de las plantas de Lulo, a medida que se incrementaba la concentración de NaCl en la solución nutritiva, sugieren la posibilidad de que se presenten síntomas de deficiencia de Calcio, Magnesio o Potasio en las plantas afectadas por sales, debido a un desbalance de la concentración de estos cationes con respecto al Na^+ en los tejidos, como sucedió en las plantas del presente ensayo, las cuales exhibieron clorosis intervenal y, posteriormente, necrosis en las hojas adultas. La acumulación de Na^+ en los tejidos de la planta está relacionada con la necesidad del vegetal de mantener un potencial osmótico intracelular aún más bajo que el del suelo, ya que, de lo contrario, se produciría la deshidratación de la planta, pues el agua no, sólo, dejaría de ser tomada, sino que presentaría la tendencia a salir del interior del vegetal. Para el caso del presente ensayo, este balance osmótico lo logra la planta mediante la toma de solutos como el Cl^- y el Na^+ y su posterior acumulación en los tejidos, especialmente, en las hojas.

La concentración de Na^+ es mayor en las raíces que en las hojas y para el Cl^- , se presenta el caso contrario, lo cual sugiere un mecanismo de la planta de lulo para atenuar el transporte del Na^+ hacia las hojas, el cual resulta no ser tan efectivo para el caso del Cl^- . Al respecto, discute Marschner (1995) que algunas plantas tienen la capacidad de reducir el transporte del Na^+ y el Cl^- hacia las ramas, cuando se desarrollan en ambientes salinos; este mecanismo opera a nivel de las raíces y a lo largo de la ruta de las raíces

hacia las ramas. El mismo autor reporta que el mecanismo para disminuir el transporte de Na^+ y Cl^- hacia las ramas puede estar asociado con ciertas propiedades de las membranas o con modificaciones anatómicas a nivel de los tejidos radiculares, como la Banda de Caspari.

Otro argumento para la interpretación de la concentración de Cl^- en los tejidos analizados, es que las plantas de Lulo, como mecanismo de tolerancia a la salinidad, tienden a acumular el Cl^- en órganos o tejidos más tolerantes a la concentración de este anión, pues, según el reporte de Dietz y Hartung (1996), algunas plantas acumulan el Cl^- en la epidermis foliar, para protegerse de altas concentraciones de éste anión en el mesófilo, además, Kaiser *et al.* (1986 y 1987), citados por Dietz y Hartung (1996), discuten, que es evidente que la inhibición de las reacciones citoplasmáticas en condiciones de estrés osmótico es causado por un incremento de las concentraciones de aniones por encima del nivel de las de los cationes. La acumulación de iones tóxicos en tejidos de vegetal menos sensibles a los iones problema es un mecanismo de tolerancia del vegetal a las condiciones de salinidad ampliamente documentado por Marschner (1995) y Kreeb (1996). Con relación a éste mecanismo de tolerancia a la salinidad, Dietz y Hartung (1996) reportan que algunas variedades de cebada, tolerantes a la salinidad, depositan el Cl^- en la epidermis foliar, mientras que el Na^+ permanece en concentraciones equivalentes, tanto en la epidermis foliar, como en el resto de la hoja, lo cual sugiere, según éstos autores, una posible función de la epidermis para prevenir altas concentraciones de Cl^- en el mesófilo.

Con base en los resultados del presente ensayo, se puede concluir que la salinidad por NaCl en plantas de Lulo, en condiciones controladas de invernadero induce los siguientes efectos: Reducción del contenido de K^+ en hojas y tallos; acumulación del Na^+ y el Cl^- en raíces y hojas; mayor acumulación del Na^+ en las raíces que en hojas y tallos, en relación con el Cl^- ; mayor acumulación del Cl^- en las hojas que en raíces y tallos en relación con el Na^+ ; incremento de las relaciones Na/Ca , Na/Mg , Na/K y $\text{Na}/\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K}$ en todos los tejidos, pero más acentuado en las raíces; reducción en la producción de biomasa; reducción del contenido de Clorofila *a* y *b* en hojas y por último, la aparición de zonas necróticas intervenales en las hojas basales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Dr. José C. Pacheco Maldonado, adscrito a la Escuela de Biología de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en Tunja (Boyacá), por su aporte en la corrección del presente documento.

LITERATURA CITADA

- ALMEIDA VIEGAS, R.; BARRETO DE MELO, A. y GOMES DE SILVEIRA, ALBENISIO. Nitrate reductase activity and proline accumulation in cashew in response to NaCl salt shock. *Revista brasileira de fisiología vegetal* 11(1): 153-159, 1999
- ALMEIDA VIEGAS, R. y GOMES DA SILVEIRA, A. Ammonia assimilation and proline accumulation in young cashew plants

- during long term exposure to NaCl -salinity. *Revista brasileira de fisiología vegetal* 11(3): 153-159, 1999
- BOHNERT, H. J.; SU, H. y SHEN, B. Molecular mechanisms of salinity tolerance. En: *Molecular responses to cold, drought, heat and salt stress in higher plants*, SHINOZAKI, K y YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K, editores, R.G. Landes company, Texas, USA. p. 29-60, 1999.
- BRIHLANTE DE OLIVEIRA-NETO, O.; TEIXEIRA DAMASCENO, A.; DE PASVIA CAMPOS, F.; GOMES-FIHLLO, E.; ENEAS-FIHLLO, J. y TARQUINO PRISCO, J. Effect of NaCl -salinity on the expression of a cotyledonary (α -amylase from *Vigna unguiculata*. *Revista brasileira de fisiología vegetal*, 10(2): 97-100, 1998
- CASTRO FRANCO, H. E. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Instituto Universitario Juan de Castellanos. Produmedios, Bogotá. p. 205 - 208, 1998
- DELFINO, S.; ALVINO, A.; VILLANI, M.C. y LORETO, F. Restrictions to carbon dioxide conductance and photosynthesis in spinach leaves recovering from salt stress. *Plant Physiology* 119: 1101-1106, 1999
- DIETZ, K. J. Y HARTUNG, W. The leaf epidermis: Its ecophysiological significance. En: *Progress in Botany Berlin* 57: 33-53, 1996
- EBERT, G.; CASIERRA, F. y LÜDDERS, P. Influence of NaCl salinity and mineral uptake of lulo (*Solanum quitoense* L.). *Journal of Applied Botany* 73: (1/2), 31-33, 1999
- ENEAS FIHLLO, J.; BRIHLANTE DE OLIVEIRA NETO, O.; TARQUINO PISCO, J.; GOMES FIHLLO, E. y MONTEIRO, C. Effects of salinity *in vivo* on cotyledonary galactosidases from *Vigna unguiculata* (L.) Walp. during seed germination and seedling establishment. *Revista brasileira de fisiología vegetal* 7(2): 135-142, 1995
- ESTRADA, EDGAR IVAN. Potencial genético del Lulo y factores que limitan su expresión. *Acta Horticulturae*, ISHS Wageningen, Holanda, No. 310: 171-182, 1992
- GOMES FIHLLO, E.; ENEAS FIHLLO, J. y TARQUINO PRISCO, J. Effects of osmotic stress on growth and ribonuclease activity in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. seedlings in stress tolerance. *Revista brasileira de fisiología vegetal* 8(1): 51-57, 1996
- KREEB, K.H. Saltzstress. En: *Stress bei Pflanzen*. Editores: BRUNOLD, CH; RÜGESSEGGGER, A. y BRÄNDLE, R. Editorial Paul Haupt, Berna (Suiza). p. 149-188, 1996
- LÜTTGE, U. Plant cell membranes and salinity: structural, biochemical and biophysical changes. *Revista brasileira de fisiología vegetal* 5 (2): 217-224, 1993
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. Segunda edición. Academic Press, Londres. p. 657-681, 1995
- SCHMUTZ, U. Physiological characterization of salt tolerance in mango. Tesis de doctorado, Humboldt Universität zu Berlin, ISHS, Leuven, Belgica. p. 46-66, 1998
- SCHOLBERG, J. Y LOCASCIO, S. Growth response of snap bean and tomato as affected by salinity and irrigation method. *HortScience* 34 (2): 259-264, 1999
- WAHOME, P. K.; JESCH, H. H. y GRITTNER, I. Effect of NaCl on the vegetative growth and flower quality of roses. *Angewandte Botanik* 74 (1/2): 38 - 41, 2000