

Crecimiento y morfología radical en dos genotipos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) sometidos a salinización con sales simples o suplementadas con calcio

Growth and root morphology in two sugar cane (*Saccharum* spp.) genotypes subject to salinization with simple salts or calcium supply salts

M. García¹ y E. Medina²

¹ Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía, Instituto de Botánica Maracay (2101), estado Aragua. Apartado Postal 4579.

² Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Centro de Ecología. Caracas.

Resumen

La salinidad de los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar se ha venido incrementando; sin embargo, se conoce poco acerca de los mecanismos asociados con su tolerancia al estrés salino. En este trabajo se investigó la influencia de la salinización con NaCl ó Na₂SO₄, con o sin suplementación con calcio, sobre el crecimiento y la morfología radical en dos genotipos de caña de azúcar con sensibilidad distinta ante la salinidad, a fin de determinar el ión más tóxico para este cultivo e identificar características asociadas con esa tolerancia salina diferencial. Las plantas se mantuvieron por cuatro meses en una cámara de crecimiento y durante los últimos dos fueron sometidas a estrés salino. La salinidad afectó más el crecimiento radical que el del vástago en ambos genotipos, y el NaCl resultó más tóxico que el Na₂SO₄, con un efecto poco notable de la suplementación de las sales simples con calcio. En condiciones salinas, PR692176 mostró mayores valores de tasa relativa de expansión foliar, número de brotes, relación sistema radical/sistema aéreo y longitud y superficie de raíces por unidad de volumen de sustrato, en comparación con V78-1. Estos resultados sugieren que la tolerancia salina en caña de azúcar está relacionada con el potencial para diluir las sales que llegan al vástago, aunado a una mayor capacidad para explorar el sustrato de crecimiento.

Palabras clave: caña de azúcar, salinidad, morfología radical, crecimiento.

Abstract

Soil salinity has been increasing in those dedicated to sugar cane cultivation; however, little information is available about the mechanisms related to salt tolerance of this crop. The influence of NaCl or Na₂SO₄ salinization, with or without additional calcium supply, on plant growth and root morphology of two sugar cane genotypes differing in salt sensitivity was studied, in order to know the more toxic ion to this crop and identify features related with differential salinity tolerance in this crop. The plants grew four months in an environment controlled growth chamber, and during the last two months they were subjected to salt stress. In both genotypes, root growth was more affected by salinity than shoot growth, NaCl was more toxic than Na₂SO₄, and additional calcium supply to simple salts had little beneficial effect on salt response. Under saline conditions, PR692176 showed higher relative leaf expansion rate, number of tillers per plant, root to shoot ratio, root length and root surface per volume of substrate, than V78-1. These results suggest that salt tolerance in sugarcane is related to a higher capacity to dilute the salts transported to the shoots, in addition to a higher ability to explore the growth substrate.

Key words: sugar cane, salinity, growth, roots morphology.

Introducción

La salinidad es uno de los factores edáficos más importantes que limitan la productividad y distribución de los cultivos. La exposición de las plantas a sales se refleja rápidamente en una disminución en la tasa de crecimiento, debido inicialmente al suministro reducido de agua a los tejidos en crecimiento, mientras que los efectos a largo plazo son consecuencia de la absorción continua de iones y su acumulación en la planta (Munns *et al.*, 2006; Bartels y Sunkan, 2005; Munns, 2002; Yeo *et al.*, 1991). El incremento en la concentración de sales en las células provoca daños en las membranas y sistemas enzimáticos, lo que afecta diferentes procesos metabólicos por toxicidad iónica. Adicionalmente, disminuye la absorción y transporte de algunos iones esenciales como K⁺, Ca⁺², Mg⁺², NO₃⁻ y

Introduction

Salinity is one of more important edaphic factors that limit productivity and crops distribution. The plants exposition to salts becomes evident in a decrease on growth rate because the water reduced supply to growing tissues, whereas the long term effects are consequence of continues absorption of ions and its accumulation in plant (Munns *et al.*, 2006; Bartels and Sunkan, 2005; Munns, 2002; Yeo *et al.*, 1991). The increase on salts concentration in cells cause damages membranes and enzymatic systems that affect different metabolic process by ionic toxicity. Also, diminish the absorption and transportation of some essential ions like K⁺, Ca⁺², Mg⁺², NO₃⁻ and H₂PO₄⁻ causing a nutritional imbalance on plant (Lacerda, 2005; Greenway and Munns, 1980).

$H_2PO_4^-$; ocasionando un desbalance nutricional en la planta (Lacerda, 2005; Greenway y Munns, 1980).

Una manera de amortiguar el efecto adverso del estrés salino sobre el crecimiento de las plantas, es mediante la adición de calcio al sustrato, lo que puede reducir marcadamente la absorción de Na^+ y/o de Cl^- e incrementar la de K^+ y Ca^{+2} . Esta respuesta se atribuye al efecto del Ca^{+2} en la estabilización e integridad de las membranas, manteniendo su selectividad en la absorción y transporte iónico, lo que ayuda a contrarrestar el efecto adverso de la salinidad en el crecimiento (Cramer, 2002; Rengel, 1992).

La morfología de las raíces tiene gran significación en la respuesta de las especies ante el estrés salino, ya que la absorción de agua y de los nutrimentos en solución depende en gran medida del área de las raíces absorbentes de la planta; de allí la importancia del estudio de este órgano con relación a la tolerancia a los distintos tipos de estrés edáficos (Bohnert *et al.*, 1995). Sin embargo, se ha estudiado poco la morfología radical en plantas creciendo bajo condiciones de salinidad, en comparación con el vástago (González *et al.*, 1997).

La caña de azúcar es un cultivo moderadamente sensible a las sales, pues su rendimiento comienza a afectarse cuando la conductividad eléctrica (CE) del extracto de la pasta del suelo saturado supera el valor de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ (Maas, 1990). Los requerimientos hídricos altos de este cultivo, hacen que su manejo bajo irrigación sea frecuente con el consecuente incremento de problemas de salinización. En Venezuela, el mayor porcentaje de tierras dedi-

One way to cushion the adverse effect of salt stress on plants growth is through the addition of calcium to the substrate, which can reduce the absorption of Na^+ and/or Cl^- and to increase K^+ and Ca^{+2} . This response is attributed to the Ca^{+2} effect on the stabilization and integrity of membranes by keeping its selectivity in the absorption and ionic transport that helps to counteract the adverse effect of salinity in growth (Cramer, 2002; Rengel, 1992).

The roots morphology have a high significance on the species response in front of the salt stress, because the water absorption and nutriments in solution depend on a great extent of absorbent roots area of plant; thus, the importance of studying this organ in relation to the tolerance to the different types of edaphic stresses (Bohnert *et al.*, 1995). However, there is little information about the root morphology in plants growing under salinity conditions, in comparison with shoot (González *et al.*, 1997).

The sugarcane is a crop moderately sensible to salts, because its yield begin to be affected when the electrical conductivity (EC) of extract from saturated soil paste exceed value of 1.7 dS m^{-1} (Maas, 1990).

The high hydric requirements of this crop, makes that its management under irrigation be frequent with the subsequent increase of salinization problems. In Venezuela, the high percentage of lands dedicated to this crop is located in the Centro Occidental region, where the salts soils presence have been diagnosed with predominance of

cadras a este cultivo se encuentra en la región Centro Occidental, donde se ha diagnosticado la presencia de suelos salinos con predominio de sulfato de sodio y cloruro de sodio (Hernández *et al.*, 2000) y suelos salino sódicos, con predominio de sulfato de sodio (Pla, 1985). Se han señalado diferencias en la sensibilidad a las sales entre genotipos de caña de azúcar (Wahid, 2004; García y Medina, 2003; Lingle *et al.*, 2000; Plaut *et al.*, 2000; Wahid *et al.*, 1997; González *et al.*, 1996; Villafañe, 1996; Zérega *et al.*, 1991, 1995; Syed y El-Swaify, 1972; Bernstein *et al.*, 1966); sin embargo, en la literatura son escasos los estudios acerca de los mecanismos que determinan esas diferencias.

En la presente investigación plantas de dos genotipos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) con sensibilidad distinta ante el estrés salino, fueron cultivadas en soluciones salinas isosmóticas de NaCl o Na₂SO₄ con o sin suministro adicional de calcio, a fin de determinar cuál de los dos iones, Na⁺ o Cl⁻, es más tóxico para la caña de azúcar, el efecto de la suplementación de las sales simples con calcio en contrarrestar la disminución del crecimiento de las plantas estresadas y qué características del crecimiento y de la morfología radical están relacionadas con la tolerancia diferencial ante las sales en los genotipos mencionados.

Materiales y métodos

Se utilizaron vitroplantas de los genotipos de caña de azúcar: 'PR692176', considerado como tolerante a sales (García y Medina, 2009; 2003;

sodium sulphate and sodium chloride (Hernández *et al.*, 2000) and sodium salts soils, with predominance of sodium sulphate (Pla, 1985). Differences in sensitivity to salts between sugarcane genotypes have been reported (Wahid, 2004; García and Medina, 2003; Lingle *et al.*, 2000; Plaut *et al.*, 2000; Wahid *et al.*, 1997; González *et al.*, 1996; Villafañe, 1996; Zérega *et al.*, 1991, 1995; Syed and El-Swaify, 1972; Bernstein *et al.*, 1966); nevertheless, the studies about mechanisms that determine these differences are limited in literature.

In this research plants of two sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) genotypes with different sensitivity in front to the salt stress were cultivated in saline solutions of NaCl or Na₂SO₄ with or without additional calcium supply, with the purpose of determining which of the two ions, Na⁺ or Cl⁻, is more toxic for sugarcane, the effect of supplementation of simple salts with calcium in counteract the growth decrease of stressed plants and which characteristics of growth and root morphology are related to the differential tolerance to salts in those genotypes.

Materials and methods

Vitroplants of sugarcane genotypes: 'PR692176', considered as salt-tolerant (García and Medina, 2009; 2003; García and Jáuregui, 2008; Hernández *et al.*, 2000; Villafañe, 1996; Zérega *et al.*, 1991) and 'V78-1', identified as sensible (García and Medina, 2009; García and Jáuregui, 2008; Hernández *et al.*, 2000) were used, they were sowed in germinators

García y Jáuregui, 2008; Hernández *et al.*, 2000; Villafañe, 1996; Zérega *et al.*, 1991) y 'V78-1', identificado como sensible (García y Medina, 2009; García y Jáuregui, 2008; Hernández *et al.*, 2000), las cuales se sembraron en germinadores con vermiculita y arena y se aclimatizaron por un mes en una cámara de crecimiento ubicada en las instalaciones del Fitotrón de la Universidad del Estado de Carolina del Norte (The Southeastern Plant Environment, North Carolina State University, Raleigh, NC – USA). Durante esta etapa la cámara de crecimiento se ajustó con un fotoperíodo de 12 horas, una densidad de flujo fotónico de $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y una temperatura de $26^\circ\text{C}/22^\circ\text{C}$ día/noche. El riego de las plantas se efectuó con una solución nutritiva Hoagland modificada utilizada previamente para este cultivo (Kumar *et al.*, 1994). Un mes después de la siembra, se seleccionaron plantas tan uniformes como fue posible y se transplantaron a recipientes de polietileno oscuro con arena desinfectada, a razón de una planta por recipiente; a partir de este momento y hasta la finalización del ensayo la densidad de flujo fotónico se ajustó a $639 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y la temperatura a $30^\circ\text{C}/26^\circ\text{C}$ día/noche, con una humedad relativa promedio de 70 %.

La salinización se inició un mes después del trasplante y se prolongó por dos meses; con la solución Hoagland se prepararon cuatro tipos de soluciones salinas: NaCl ($100 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$); Na_2SO_4 ($50 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$); NaCl ($100 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$) + CaCl_2 ($10 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$) y Na_2SO_4 ($50 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$) + CaCl_2 ($10 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$). El riego con cada una de estas soluciones, constituyó un tratamiento de

with vermiculite and sand, and they were acclimatized during a month on a growth chamber located in Fitotrón of the Southeastern Plant Environment, North Carolina State University, Raleigh, NC – USA. During this stage the growth chamber was adjusted with a photoperiod of 12 hours, a photonic flow density of $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and a temperature of $26^\circ\text{C}/22^\circ\text{C}$ day/night. Plants irrigation was done with a nutritive solution Hoagland modified previously used for this crop (Kumar *et al.*, 1994). A month after sowing, plants were selected as uniform as possible and they were transplanted into dark polyethylene recipients with disinfected sand, at a reason of a plant per recipient; from this moment and until essay ending, density of photonic flow was adjusted to $639 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and temperature to $30^\circ\text{C}/26^\circ\text{C}$ day/night, with a main relative moisture of 70%.

Salinization began a month after transplant and was extended during two months; four types of saline solutions were prepared using Hoagland solution: NaCl ($100 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$); Na_2SO_4 ($50 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$); NaCl ($100 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$) + CaCl_2 ($10 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$) and Na_2SO_4 ($50 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$) + CaCl_2 ($10 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}$). Irrigation with each of solutions constituted a salinity treatment and in a parallel way, a control treatment was also maintained, where plants were irrigated with nutritive solution without any salts additional contribution. A complete random design was used in a factorial arrangement (2 genotypes x 5 irrigation solutions), for a total of 10 treatments and six replications.

The total foliar area was determined in three plants per

salinidad y paralelamente se mantuvo un tratamiento testigo, en el que las plantas se regaron con solución nutritiva sin aporte adicional de sales. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado en un arreglo de tratamientos factorial 2 (genotipos) x 5 (soluciones de riego), para un total de 10 tratamientos y seis repeticiones.

Se determinó el área foliar total en tres plantas por tratamiento al momento de iniciar la salinización y a los 14, 28, 42 y 56 días posteriores. Para ello, se usó un método no destructivo, que consistió en medir la longitud y el ancho máximo de todas las hojas totalmente expandidas de cada planta. Con estos valores se calculó el área foliar, usando las ecuaciones de regresión propuestas por García y Medina (2003) para los genotipos evaluados y se determinó la tasa relativa de expansión foliar mediante la siguiente relación (Hunt, 1982):

$$\text{TREF} = \frac{\ln(A_2) - \ln(A_1)}{t_2 - t_1}$$

donde: TREF= tasa relativa de expansión foliar ($\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$); $\ln(A_2)$ = logaritmo neperiano del área foliar al tiempo 2 (cm^2); $\ln(A_1)$ = logaritmo neperiano del área foliar al tiempo 1 (cm^2); $t_2 - t_1$ = tiempo transcurrido entre dos muestreos sucesivos (14 días).

Transcurridos 60 días después de iniciado el período de estrés salino, se seleccionaron aleatoriamente tres plantas por tratamiento y en cada una de ellas se determinó número y área de hojas verdes y secas por planta, altura y número de brotes. Posteriormente, se separó el sistema radical del vástago

tratamiento al momento de beginning salinization and to 14, 28, 42 and 56 days later. A non destructive method that consisted on measuring length and maximum width of all the leaves totally expanded any plant, was used. The foliar area was estimated with these values, by using the regression equations proposed by García and Medina (2003) for genotypes evaluated and the expansion relative rate foliar was determined through the following relation (Hunt, 1982):

$$\text{TREF} = \frac{\ln(A_2) - \ln(A_1)}{t_2 - t_1}$$

where: RRFE= relative rate of foliar expansion ($\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$); $\ln(A_2)$ = Neperian logarithm of foliar area at the time 2 (cm^2); $\ln(A_1)$ = Neperian logarithm of foliar area at the time 1 (cm^2); $t_2 - t_1$ = time between two successive samplings (14 days).

Passed 60 days after beginning saline stress, three plants at random were selected per treatment and any of them, number and area of green and dry leaves per plant, height and shoot number. Therefore, the shoot root system was separated and this material was taken to store to 70°C during three days to estimate the dry biomass of each component. The relationship dry matter of root system/dry matter of aerial system was estimated with data obtained (RS/AS).

To evaluate the quantitative morphology of roots, three plants each treatment were selected and with Samson and Sinclair method (1994), a sample of known volume of substrate with helping of an aluminum tube was obtained, roots were move apart and

tago y este material se llevó a estufa a 70°C por tres días para estimar la biomasa seca de cada componente. Con los datos obtenidos se calculó la relación materia seca del sistema radical/materia seca del sistema aéreo (SR/SA).

Para evaluar la morfología cuantitativa de las raíces, se seleccionaron tres plantas de cada tratamiento y con el método de Samson y Sinclair (1994), se obtuvo una muestra de volumen conocido de substrato con la ayuda de un tubo de aluminio, se separaron las raíces y las muestras se preservaron en una solución acuosa de etanol al 20% a temperatura aproximada de 10°C. Se determinó en cada muestra la longitud radical total mediante el método de Tennant (1975); este valor se dividió entre el volumen de substrato muestreado y de esta forma se estimó la densidad longitudinal de raíces (cm.cm⁻³). También se midió en un cilindro graduado el volumen de cada muestra de raíces y con los datos obtenidos se calculó el diámetro promedio, asumiendo a la raíz como un cilindro mediante la siguiente relación (Bohm, 1979):

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi L}}$$

donde: d= diámetro radical promedio L= longitud radical V= volumen radical.

Los valores de longitud (L) y diámetro de raíces (d), fueron usados para calcular la superficie de cada muestra, mediante la relación: S= δdL

El valor de la superficie radical de cada muestra se dividió entre el volumen de substrato muestreado,

samples were preserved in an aqueous solution of ethanol to 20% at an approximate temperature of 10°C. At any sample the total root length was determined through Tennant method (1975); this value was divided between the sampled substrate volume and this way the longitudinal roots density was calculated (cm.cm⁻³). The volume of each root sample was also measured in a graduated cylinder and with data obtained the average diameter was calculated, by assuming root like a cylinder through the following relation: (Bohm, 1979):

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi L}}$$

where: d= mean root diameter L= root length V= root volume.

Length values (L) and root diameter (d), were used to estimate the surface of any sample, through the relation: S= δdL .

The value of root surface at any sample was divided between the volume of sampled substrate to obtain the root surface by volume unit (cm² cm⁻³).

For the quantitative variables determined 60 days after beginning the salinization period, an analysis of variance was accomplished (ANOVA) was made according design proposed and where significant differences were found; the means comparison was made by following the Duncan multiple ranks test. In case of RRFEE, a multivariate analysis of variance (MANOVA) was applied and once significant differences were detected, the means comparison was accomplished by also using the

para obtener la superficie radical por unidad de volumen ($\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$).

Para las variables cuantitativas determinadas 60 días después de iniciado el período de salinización, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) de acuerdo al diseño propuesto y donde se encontraron diferencias significativas, se realizó la comparación de medias mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan. En el caso de la tasa relativa de expansión foliar (TREF), se aplicó un análisis de varianza multivariado (MANOVA) y cuando se detectaron diferencias significativas, se hizo la comparación de medias utilizando también la prueba de rangos múltiples de Duncan. Para realizar los análisis estadísticos se utilizaron los Programas Statistix versión 1.0 y SAS versión 8.1.

Resultados y discusión

Tasa relativa de expansión foliar (TREF)

La salinidad provocó una reducción altamente significativa en la tasa relativa de expansión foliar (TREF) en los cuatro períodos evaluados (cuadro 1). En los primeros 14 días de estrés la TREF disminuyó en forma similar para todos los tratamientos de salinidad probados, mientras que en los períodos siguientes la reducción de la misma fue mayor en el tratamiento con NaCl respecto a las estresadas con Na_2SO_4 , lo que sugiere que la disminución inicial en la TREF se debió a un efecto osmótico provocado por las sales, mientras que en los períodos subsiguientes (14-56 días), ésta se debió a un efecto iónico específico. Este comportamiento coincidió con evidencias obtenidas previamente

Duncan multiple ranks test. To make the statistical analysis the Statistix version 1.0 and SAS version 8.1 programs were used.

Results and discussion

Relative rate of foliar expansion (RRFE)

The salinity caused a highly significant reduction in the RRFE in all the four evaluated periods (table 1). In the first 14 stress days, the RRFE decreased in a similar way for all the salinity treatments tested, while in the following periods, the reduction was higher in treatment with NaCl respect to those stressed with Na_2SO_4 , which suggest that the initial decrease on RRFE was product of an osmotic effect caused by salts, whereas in the following periods (14-56 days), it was caused by an specific ionic effect. This behavior agreed with evidences previously obtained in salt-stressed plants (Yeo *et al.*, 1991; Munns, 1993; 2002; 2006; Munns *et al.*, 1995; Wahid, 2004), just as the initial reduction in salinity conditions growth, was caused by an inappropriate water supply to the tissues in expansion (osmotic effect), whereas to long term, the excessive absorption of toxic ions (specific ionic effect) was the cause of growth inhibition. The supplementation of simple salts with calcium did not produce a favorable effect on RRFE at any of evaluated periods and on the contrary, induced a significant reduction in those stressed plants with Na_2SO_4 in the interval between 28-42 days. In all the periods, except between 28 and 42 days, significant differences were detected between RRFE of two genotypes, being

Cuadro 1. Tasa relativa de expansión foliar (TREF) para varios periodos, en plantas de dos genotipos de caña de azúcar sometidas a estrés salino por 56 días.**Table 1. Relative rate of foliar expansion (RRFE) for several periods, in plants of two salt-stressed sugarcane genotypes during 56 days.**

Efecto	TREF (cm ² cm ⁻² día ⁻¹)			
	Días después de aplicado el estrés salino			
	0-14	14-28	28-42	42-56
Tratamiento (T)				
Testigo	0,108a	0,060a	0,046a	0,035a
Na ₂ SO ₄	0,078b	0,041b	0,037b	0,027b
Na ₂ SO ₄ + Ca	0,074b	0,045b	0,031c	0,024b
NaCl	0,065b	0,038c	0,022d	0,013c
NaCl + Ca	0,069b	0,039c	0,024d	0,016c
Genotipo (G)				
PR692176	0,085a	0,049a	0,032	0,026a
V78-1	0,072b	0,040b	0,031	0,020b
T x G	ns	ns	ns	ns

ns: diferencia no significativo

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia significativa (P<0,01) de acuerdo a la Prueba de Rango Múltiple de Duncan

te en plantas estresadas por sales (Yeo *et al.*, 1991; Munns, 1993; 2002; 2006; Munns *et al.*, 1995; Wahid, 2004), según las cuales la reducción inicial en el crecimiento en condiciones de salinidad, se debió a un suministro inadecuado de agua a los tejidos en expansión (efecto osmótico), mientras que en el largo plazo, la absorción excesiva de iones tóxicos (efecto iónico específico) fue la causa de la inhibición del crecimiento. La suplementación de las sales simples con calcio, no produjo un efecto favorable sobre la TREF en ninguno de los periodos evaluados, y por el contrario, indujo una reducción significativa de la misma en las plantas estresadas con

PR692176 the higher value, which would contribute to explain its high tolerance, because the maintenance of a high leaves growth rate in saline conditions was advantageous, since suppose a high absorbed salts dilution capacity and this helps to counteract its toxic effect (Cramer *et al.*, 1994; Wahid, 2004).

Number of leaves, foliar area, plant height and number of shoots

The number of green leaves per plant decreased with salinization, while the number of dry leaves increased (table 2). The treatment with NaCl caused the higher reduction in

Na_2SO_4 en el intervalo comprendido entre 28-42 días. En todos los períodos, excepto entre 28 y 42 días, se detectaron diferencias significativas entre la TREF de los dos genotipos, correspondiendo el mayor valor de la misma a PR692176, lo que podría contribuir a explicar en parte su mayor tolerancia, ya que se ha demostrado que el mantenimiento de una tasa mayor de crecimiento de las hojas en condiciones salinas fue ventajoso, puesto que supone una mayor capacidad de dilución de las sales absorbidas y esto ayuda a contrarrestar su efecto tóxico (Cramer *et al.*, 1994; Wahid, 2004).

Número de hojas, área foliar, altura de planta y número de brotes

El número de hojas verdes por planta disminuyó con la salinización, mientras que el número de hojas secas aumentó (cuadro 2). El tratamiento con NaCl provocó la mayor reducción en el número de hojas verdes y la suplementación de las sales simples con calcio sólo tuvo efecto positivo en las plantas tratadas con Na_2SO_4 . PR692176 mostró un promedio de hojas verdes significativamente mayor que V78-1, mientras que lo contrario ocurrió con el número de hojas secas.

El área foliar por planta decreció significativamente con la salinidad, más en las plantas estresadas con NaCl que en las tratadas con Na_2SO_4 y la suplementación de estas sales con calcio no tuvo efecto significativo en esta variable (cuadro 2). El área foliar promedio fue significativamente mayor en V78-1 que en PR692176; no obstante, cabe resaltar que el primer genotipo mostró un valor de área foliar notablemente mayor que el segundo genotipo

number of green leaves and the supplementation of simple salts with calcium only had a positive effect on plants treated with Na_2SO_4 . PR692176 showed a significant high average of green leaves in comparison to V78-1, whereas the opposite happened with the number of dry leaves.

The foliar area per plant decreased in a significant way with salinity, more in stressed plants with NaCl than in those plants treated with Na_2SO_4 and the supplementation of these salts with calcium had nor significant effect on this variable (table 2). The mean foliar area was significant higher in V78-1 than in PR692176; nevertheless, it is posible to detach that the first genotype showed a value of foliar area notable higher than the second genotype in control treatment, but the reduction in this variable by the salinization was notably higher in sensible than in tolerant genotype; this response could be related to a higher rate of foliar renewal, to a reduction in premature senescence of mature leaves or to the higher RRFE showed by PR692176 under salinity conditions.

It has been showed that reduction in foliar area of salinized plants took to a decrease of transpiration and in the salts accumulation in leaves (Asch *et al.*, 2000; Wahid, 2004). The capacity to maintain a higher photosynthetic surface in salinity conditions, represented an advantage for the photo assimilates production, on the contrary, the premature senescence of mature leaves limited the carbon assimilation, because the reduction of the photosynthetically active area of plant (Cramer *et al.*, 1994). Previous studies

Cuadro 2. Número de hojas, área foliar, altura de planta y número de brotes, en plantas de dos genotipos de caña de azúcar estresadas por sales durante 60 días.

Table 2. Leaves number, foliar area, plant height and shoots number, in plants of two salt-stressed sugarcane genotypes during 60 days.

Efecto	Número de hojas		Area foliar (cm ²)	Altura (cm)	Número debotes
	verdes	secas			
Tratamiento (T)					
Testigo	114a	9d	12551a	43a	24a
Na ₂ SO ₄	53b	19c	5257b	36b	14b
Na ₂ SO ₄ + Ca	57b	21c	4814b	34bc	15b
NaCl	32d	33a	2644c	28d	12c
NaCl + Ca	42c	29b	3295c	31cd	14b
Genotipo (G)					
PR692176	68a	21b	5503b	36a	17a
V78-1	52b	24a	5921a	33b	15b
T x G	**	**	**	ns	**

** : diferencias significativas a P<0,01 ns: diferencias no significativas

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia significativa (P<0,01) de acuerdo a la Prueba de Rango Múltiple de Duncan

en el tratamiento testigo, pero la reducción en esta variable por la salinización fue notablemente mayor en el genotipo sensible que en el tolerante; esta respuesta podría estar vinculada a una tasa mayor de renovación foliar, a una reducción en la senescencia prematura de hojas maduras o a la TREF mayor mostrada por PR692176 bajo condiciones de salinidad.

Se ha demostrado que la reducción en el área foliar en plantas salinizadas conllevó a una disminución de la transpiración y en la acumulación de sales en las hojas (Asch *et al.*, 2000; Wahid, 2004). La capacidad de mantener una mayor superficie fotosintética en condiciones de

about sugarcane genotypes subjected to saline stress have revealed a high production rate of new leaves, maintenance of a high number of green leaves and a low reduction of foliar area, in those genotypes more tolerant to salinity (Plaut *et al.*, 2000; García and Medina, 2003; Wahid, 2004).

The height and number of shoots by plant were reduced in a significant way with salinity and this effect was more severe in those plants treated with NaCl, in relation to those stressed with Na₂SO₄. The supplementation of these salts with calcium had not effect on the plants height, but it caused a significant stress in the number of shoots of plants treated with NaCl (table 2).

salinidad, representó una ventaja para la producción de fotoasimilados, por el contrario, la senescencia prematura de hojas maduras limitó la asimilación de carbono, debido a la reducción del área fotosintéticamente activa de la planta (Cramer *et al.*, 1994). Estudios previos en genotipos de caña de azúcar sometidos a estrés salino, han revelado una tasa mayor de producción de hojas nuevas, mantenimiento de un número mayor de hojas verdes y una reducción menor del área foliar, en los genotipos más tolerantes a la salinidad (Plaut *et al.*, 2000; García y Medina, 2003; Wahid, 2004).

La altura y el número de brotes por planta se redujeron significativamente con la salinidad y ese efecto fue más severo en las plantas tratadas con NaCl, respecto a las estresadas con Na₂SO₄. La suplementación de esas sales con calcio no tuvo un efecto sobre la altura de las plantas, pero provocó un incremento significativo en el número de brotes en las plantas tratadas con NaCl (cuadro 2). Para ambas variables se detectaron diferencias altamente significativas entre los dos genotipos, con un promedio mayor en PR692176 que en V78-1.

Estudios previos en plantas de caña de azúcar sometidas a estrés salino han demostrado un marcado efecto desfavorable de las sales sobre la altura de las plantas (Syed y El-Swaify, 1972; Villafañe, 1996; Lingle *et al.*, 2000; García y Medina, 2003), atribuido tanto a una disminución en el número de entrenudos del tallo como a su acortamiento (Lingle *et al.*, 2000). La tendencia a producir más brotes en condiciones salinas se ha observado

Highly significant differences were detected for both genotypes, with a high average in PR692176 than in V78-1.

Previous studies in sugarcane plants subjected to saline stress have shown a remarkable unfavorable effect of salts about the plants heights (Syed and El-Swaify, 1972; Villafañe, 1996; Lingle *et al.*, 2000; García and Medina, 2003), attributed to a decrease in number of stem internodes as its shortening (Lingle *et al.*, 2000). Tendency to produce more shoots in saline conditions have been previously observed in sugarcane (Syed and El-Swaify, 1972; Wahid *et al.*, 1997; García and Medina, 2003; Wahid, 2004) and it has been reported like a characteristic related to the salinity tolerance in this crop, since contributes to improve the capacity of salts dilution and helps to counteract its toxic effect (Wahid *et al.*, 1997; Wahid, 2004).

Shoots and roots biomass, roots biomass relationship/aerial biomass

In the two genotypes studied the salts treatment affected the biomass production in sprout as in roots, being this effect more severe in those plants treated with NaCl respect to those treated with Na₂SO₄ (table 3) and there was no favorable effect on the accumulated biomass in these two portions when these salts were supplemented with calcium. The average of roots dry biomass was higher in PR692176 than in V78-1 and in the sprout was the contrary; however, when comparing the production of dry matter in the two genotypes respect to control plants, it was found that in roots this

previamente en caña de azúcar (Syed y El-Swaify, 1972; Wahid *et al.*, 1997; García y Medina, 2003; Wahid, 2004) y se ha señalado como una característica asociada con la tolerancia a la salinidad en este cultivo, puesto que contribuye a mejorar la capacidad de dilución de las sales y ayuda a contrarrestar su efecto tóxico (Wahid *et al.*, 1997; Wahid, 2004).

Biomasa del vástago y de raíces, relación biomasa de raíces/ biomasa aérea

En los dos genotipos estudiados el tratamiento con sales afectó la producción de biomasa tanto en el vástago como en las raíces, siendo ese efecto más severo en las plantas tratadas con NaCl respecto a las tratadas con Na_2SO_4 (cuadro 3) y no hubo efecto favorable sobre la biomasa acumulada en esas dos porciones al suplementar estas sales con calcio. El promedio de biomasa seca de raíces fue mayor en PR692176 que en V78-1 y en el vástago ocurrió lo contrario; no obstante, al comparar la producción de materia seca en los dos genotipos respecto a las plantas testigo, se encontró que en las raíces éste fue 64, 59, 27 y 33% para PR692176 y 47, 48, 22 y 27% para V78-1, en las plantas tratadas con Na_2SO_4 , $\text{Na}_2\text{SO}_4+\text{Ca}$, NaCl y NaCl+Ca, respectivamente; mientras que en la parte aérea, la biomasa acumulada fue 66, 62, 38 y 45 % en PR692176 y 52, 49, 33 y 39 % en V78-1, en la misma secuencia de tratamientos. Estos resultados evidencian claramente que la salinidad afectó menos la acumulación relativa de materia seca en PR692176 que en V78-1, lo cual verifica la tolerancia a sales del primer genotipo reportada en estudios previos (Zérega *et*

was 64, 59, 27 and 33% for PR692176 and 47, 48, 22 and 27% for V78-1, in plants treated with Na_2SO_4 , $\text{Na}_2\text{SO}_4+\text{Ca}$, NaCl and NaCl+Ca, respectively; while in the aerial part, the accumulated biomass was 66, 62, 38 and 45% en PR692176 and 52, 49, 33 and 39% in V78-1, in the same sequence of treatments. These results clearly shows that salinity affected in a lower way the relative accumulation of dry matter in PR692176 than in V78-1, which verifies the tolerance to salts of the first genotype, reported in previous studies (Zérega *et al.*, 1991; Villafañe, 1996; García and Medina, 2003).

The dry biomass relationship of root/ dry biomass of aerial system (RS/ AS) was reduced in a significant way only in those plants stressed with NaCl and the supplementation of this salt with calcium had not favorable effect on this relationship (table 3). Significant differences were detected in RS/AS relationship between the two genotypes with a high average in PR692176 than in V78-1, which makes evident a high investment and assimilates toward roots growth in the first genotype, in agreement with those reported by García and Medina (2003). The dry matter distribution between roots and sprout is of high importance in saline environments and it is considered that maintenance of a RS/ AS relationship, represent an advantage in relation to the capacity of root system for the water obtaining from the growth substrate, which is important to confront the osmotic effect imposed by salts. In sorghum (*Sorghum* spp.) have been showed that continues development of roots under salinity conditions offer a potential

Cuadro 3. Biomasa seca de raíces y de la parte aérea y relación materia seca del sistema radical/materia seca del sistema aéreo (SR/SA), en plantas de dos genotipos de caña de azúcar estresadas por sales durante 60 días.

Table 3. Roots dry biomass and aerial part and relationship dry matter of root system/dry matter of aerial system (SR/SA), in plants of two stressed-salt sugarcane genotypes during 60 days.

Efecto	Biomasa radical (g)	Biomasa vástago (g)	SR/SA
Tratamiento (T)			
Testigo	50a	213a	0,240a
Na ₂ SO ₄	28b	123b	0,227a
Na ₂ SO ₄ + Ca	27b	116b	0,231a
NaCl	12c	75c	0,167b
NaCl + Ca	15c	83c	0,185b
Genotipo (G)			
PR692176	29a	112b	0,245a
V78-1	24b	132a	0,174b
T x G	*	**	ns

*, **: diferencia significativa a $P < 0,05$ y $P < 0,01$, respectivamente ns: diferencia no significativa. Letras distintas en cada columna indican diferencia significativa ($P < 0,01$) según Prueba de Rango Múltiple de Duncan.

al., 1991; Villafañe, 1996; García y Medina, 2003).

La relación biomasa seca del sistema radical/biomasa seca del sistema aéreo (SR/SA) se redujo significativamente sólo en las plantas estresadas con NaCl y la suplementación de esta sal con calcio no tuvo efecto favorable sobre esta relación (cuadro 3). Se detectaron diferencias significativas en la relación SR/SA entre los dos genotipos con un promedio mayor en PR692176 que en V78-1, lo cual evidencia una inversión más alta de asimilados hacia el crecimiento de las raíces en el primer genotipo, en concordancia con lo reportado por García y Medina (2003). La

reservoir for the salts storage and usually the genotypes capable of distributing a high assimilates proportion for developing of root system shows high capacity to saline environments-adaptation (Boursier and Läuchli, 1990).

Quantitative morphology of root system

Salinity caused a significant reduction in longitudinal density of roots (DLR) in two genotypes which was higher in those stressed plants with NaCl in relation to those treated with Na₂SO₄, without significant effect of calcium supplementation when modifying this behavior (table 4). When comparing the average DLR of both

distribución de materia seca entre las raíces y el vástago es de primera importancia en ambientes salinos y se considera que el mantenimiento de una relación SR/SA mayor, representa una ventaja en cuanto a la capacidad del sistema radical para la obtención de agua desde el sustrato de crecimiento, lo cual es de importancia para enfrentar el efecto osmótico impuesto por las sales. En sorgo (*Sorghum* spp.) se ha indicado que el desarrollo continuo de raíces bajo condiciones de salinidad, provee un reservorio potencial para el almacenamiento de sales y usualmente los genotipos capaces de distribuir mayor proporción de asimilados para el desarrollo del sistema radical, muestran mayor capacidad para adaptarse a ambientes salinos (Boursier y Läuchli, 1990).

Morfología cuantitativa del sistema radical

La salinidad provocó una reducción significativa en la densidad longitudinal de raíces (DLR) en los dos genotipos, que fue mayor en las plantas estresadas con NaCl respecto a las tratadas con Na_2SO_4 , sin efecto significativo de la suplementación con calcio en modificar este comportamiento (cuadro 4). Al comparar la DLR promedio de ambos genotipos se encontró que ésta fue significativamente mayor en PR692176 que en V78-1.

El diámetro promedio de las raíces incrementó con el estrés salino, en forma similar para todos los tratamientos de salinidad (cuadro 4) lo cual indicó que ese efecto fue independiente del tipo de sal utilizada. Ese incremento en el diámetro radical se debió a un aumento en la succulencia de este órgano, que fue confirmado mediante el

genotypes, this was significant higher in PR692176 than in V78-1.

The main diameter of roots increased with the saline stress, in similar way for all the salinity treatments (table 4) which showed that this effect was independent of salt type used. This increase on root diameter was caused by an increase in succulence of this organ that was confirmed through the histology study of these roots (unpublished data). The comparative study of roots mean diameter in two genotypes showed that this was lower for PR692176, respect to V78-1.

In relation to the root surface per unit of substrate volume, a significant reduction was observed in response to salinity, being this effect superior in those plants treated with NaCl respect to those stressed with Na_2SO_4 and there was no favorable answer of calcium addition to the simple salts on this characteristic (table 4). PR692176 showed a high average of root surface per substrate volume unit than V78-1.

In unstressed plants, PR692176 developed roots of lower diameter and high longitudinal density mayor respect to V78-1, whereas in salinized plants these characteristics were less affected in the first genotype that in the second one (table 4, figure 1). This behavior suggest an advantage for PR692176 in relation to its substrate exploring capacity; it is possible to detach that this genotype also have shown foliar anatomic characteristics related with a better possibility to survive in hydric availability environments restricted like those that saline stress impose (García and Jáuregui, 2008). In soybean (*Glycine*

estudio de la histología de estas raíces (datos no publicados). El estudio comparativo del diámetro promedio de las raíces en los dos genotipos mostró que éste fue menor para PR692176, respecto a V78-1.

En cuanto a la superficie radical por unidad de volumen de sustrato, se observó una reducción significativa de la misma en respuesta a la salinidad, siendo este efecto mayor en las plantas tratadas con NaCl respecto a las estresadas con Na_2SO_4 y no se observó respuesta favorable de la adición de calcio a las sales simples sobre esta característica (cuadro 4). PR692176 mostró un promedio mayor de superficie radical por unidad de volumen de sustrato que V78-1.

En las plantas no estresadas,

max (L) Merrill) and sorghum genotypes, intra-specific differences in potentiality to develop a more extensive root system, have been related to the plants capacity to absorb water and essential nutriments and subsequently, with a high tolerance to salinity conditions (Boursier and Läubli, 1990; An *et al.*, 2002).

When plants are subjected to saline stress by using isosmotic solutions, any difference in growth shows the presence of a specific ionic effect, in addition to the osmotic effect imposed by salts. The results described showed that NaCl affected growth and root morphology of two genotypes than Na_2SO_4 , which showed a specific ionic effect, attributable to Cl⁻ like a more toxic ion for sugarcane, as confirmed

Cuadro 4. Densidad longitudinal de raíces (DLR), diámetro promedio y superficie radical, en plantas de dos genotipos de caña de azúcar estresadas por sales durante 60 días.

Table 4. Roots longitudinal density (DLR), average diameter and root diameter and root surface, in plants of two stressed-salt sugarcane genotypes during 60 days.

Efecto	DLR (cm cm^{-3})	Diámetro (mm)	Superficie ($\text{cm}^2 \text{cm}^{-3}$)
Tratamiento (T)			
Testigo	5,42a	0,74b	1,25a
Na_2SO_4	3,10b	0,91a	0,86b
Na_2SO_4 + Ca	2,99b	0,94a	0,87b
NaCl	2,19c	0,91a	0,61c
NaCl + Ca	2,34c	0,92a	0,66c
Genotipo (G)			
PR692176	3,76a	0,78b	0,90a
V78-1	2,65b	0,99a	0,80b
T x G	ns	**	ns

** : diferencia significativa a $P < 0,01$ ns: diferencia no significativa

Letras distintas dentro de cada columna indican diferencia significativa ($P < 0,01$) según la Prueba de Rango Múltiple de Duncan.

PR692176 desarrolló raíces de diámetro menor y densidad longitudinal mayor respecto a V78-1, mientras que en las plantas salinizadas esas dos características se afectaron menos en el primer genotipo que en el segundo (cuadro 4, figura 1). Este comportamiento sugiere una ventaja para PR692176 en cuanto a su capacidad de exploración del sustrato; cabe indicar que este genotipo también ha mostrado características anatómicas foliares relacionadas con mejor posibilidad para sobrevivir en ambientes de disponibilidad hídrica restringida como las que impone el estrés salino (García y Jáuregui, 2008). En genotipos de soya (*Glycine max* (L) Merrill) y sorgo diferencias intraespecíficas en la potencialidad para desarrollar un sistema radical más extenso, se han relacionado con la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes esenciales y por consiguiente con una tolerancia mayor a condiciones de salinidad (Boursier y Läuchli, 1990; An *et al.*, 2002).

Cuando las plantas son sometidas a estrés salino utilizando soluciones isosmóticas, cualquier diferencia en el crecimiento indica la presencia de un efecto iónico específico, en adición al efecto osmótico impuesto por las sales. Los resultados descritos mostraron que el NaCl afectó más el crecimiento y la morfología radical de los dos genotipos que el Na_2SO_4 , lo cual indicó un efecto iónico específico, atribuible al Cl como ión más tóxico para la caña de azúcar, tal como lo confirman trabajos recientes de García y Jáuregui (2008) y García y Medina (2009) en los mismos genotipos utilizados en esta investigación.

in recent researches of García and Jáuregui (2008) and García and Medina (2009) in the same genotypes used in this research. Additionally, this behavior agreed with those found by Bernstein *et al.* (1966) and Syed and El-Swaify (1972), who observed a lower growth affectation in sugarcane genotypes when SO_4^{2-} was the companion anion.

The supplementation of simple salts with CaCl_2 did not counteract in a significant way the harmful effect caused by simple salts on the most of growth characteristics and of quantitative morphology of root system studied; this result can be attributed to the high toxic effect of Cl^- (companion anion of calcium salt used) for sugarcane. The favorable effect of supplementary calcium application on the growth inhibition caused by sodium salts have been supported by several authors (Rengel, 1992; Alberico and Cramer, 1993; Cramer *et al.* 1994; Cramer, 2002). However, there are also findings according to which this supplementation have any of little effect in counteract the growth decrease caused by salinity (Yeo and Flowers, 1985; Weimberg, 1988; Zekri and Parsons, 1990; Bañulus *et al.*, 1991). In the particular case of citric, a group with a marked sensitivity to Cl^- (Douglas and Walker, 1984), it was proved that supplementation using Cl^- like companion anion of calcium salt had not beneficial effect on growth in plants under saline stress, which happened when supplementation included NO_3^- or SO_4^{2-} like calcium companion anions (Zekri and Parsons, 1990; Bañulus *et al.*, 1991); this showed that the effect of calcium

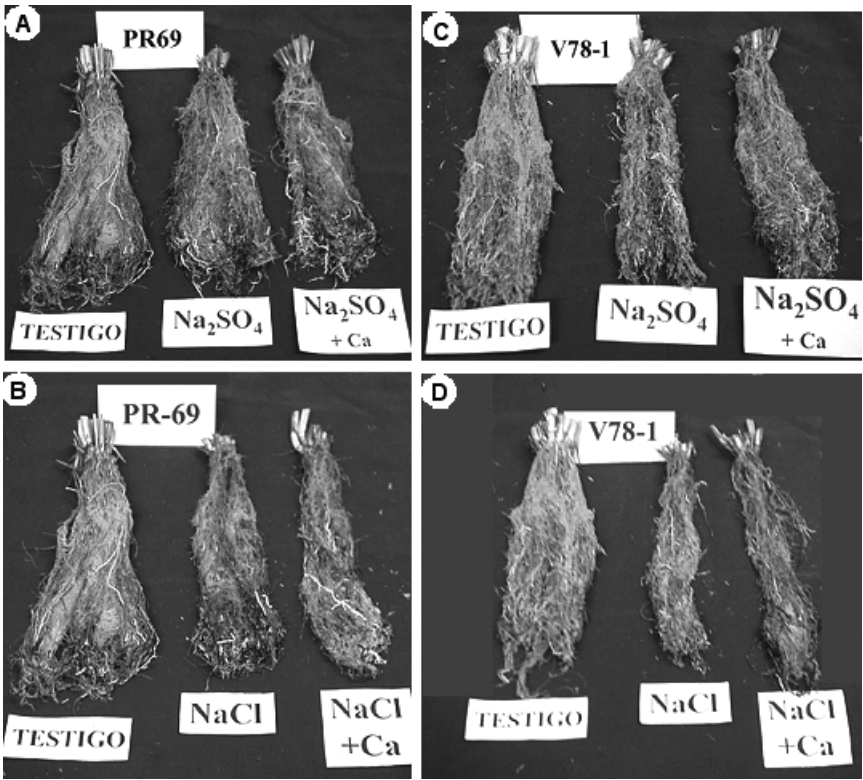


Figura 1. Vista comparativa del sistema radical en plantas testigo, o tratadas con sales por 60 días, en los genotipos de caña de azúcar PR692176 (A y B) y V78-1 (C y D).

Figure 1. Comparative view of root system in control plants, or treated with salts during 60 days, in the sugarcane genotypes PR692176 (A and B) and V78-1 (C and D).

Adicionalmente este comportamiento coincidió con lo encontrado por Bernstein *et al.* (1966) y Syed y El-Swaify (1972), quienes observaron una menor afectación del crecimiento en genotipos caña de azúcar cuando el anión acompañante del sodio fue SO_4^{2-} .

La suplementación de las sales simples con CaCl_2 no contrarrestó significativamente el efecto perjudicial provocado por las sales simples sobre la mayoría de las características del

suplementation to counteract the growth decrease caused by salts depended on companion anion of calcium salt.

Conclusions

The salt stress reduced in a significant way the growth and notably affected the quantitative morphology of root system, being this superior

crecimiento y de la morfología cuantitativa del sistema radical estudiadas; este resultado puede atribuirse al alto efecto tóxico del Cl⁻ (anión acompañante de la sal de calcio utilizada) para la caña de azúcar. El efecto favorable de la aplicación de calcio suplementario sobre la inhibición del crecimiento provocada por sales de sodio ha sido sustentado por varios autores (Rengel, 1992; Alberico y Cramer, 1993; Cramer *et al.* 1994; Cramer, 2002). Sin embargo, también hay hallazgos según los cuales esa suplementación ha tenido poco o ningún efecto en contrarrestar la disminución del crecimiento causada por la salinidad (Yeo y Flowers, 1985; Weimberg, 1988; Zekri y Parsons, 1990; Bañulus *et al.*, 1991). En el caso particular de los cítricos, un grupo con una sensibilidad marcada al Cl⁻ (Douglas y Walker, 1984), se demostró que la suplementación usando Cl⁻ como anión acompañante de la sal de calcio no tuvo efecto beneficioso sobre el crecimiento en plantas bajo estrés salino, lo que sí ocurrió cuando la suplementación incluyó NO₃⁻ o SO₄⁻² como aniones acompañantes del calcio (Zekri y Parsons, 1990; Bañulus *et al.*, 1991); esto indicó que el efecto de la suplementación con calcio para contrarrestar la disminución del crecimiento causada por las sales dependió del anión que acompañó la sal de calcio.

Conclusiones

El estrés por sales redujo significativamente el crecimiento y afectó en forma notable la morfología cuantitativa del sistema radical, siendo ese efecto mayor cuando el estrés se

effect when stress was caused with NaCl than in presence of Na₂SO₄. This behavior shows an specific ion effect attributable to the Cl⁻ like more toxic ion for sugarcane. The CaCl₂ supplementation did not counteract the unfavorable effect of simple salts on growth and root morphology, which can be attributable to the Cl⁻ use like companion anion. The salinity tolerance of PR692176 on V78-1 can be partially explained by the capacity of the first genotype to dilute salts arriving leaves because a higher TREF combined to development of a root system higher under saline conditions.

Acknowledgement

The authors want to express their thanks to the Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Universidad Central de Venezuela, by the financing offered to this research through the project No. 01.31.4692.2004. Besides to the Ing. Agr. MSc Luis Zérega, by their valuable recommendations in relation to the selection of genetic material to be used and salts to be evaluated, and also, to the Ing. Agr. Rosalba Tovar of "Central El Palmar", by the vitroplants supply of two varieties used.

End of english version

provocó con NaCl que en presencia de Na₂SO₄. Este comportamiento indica un efecto iónico específico atribuible al Cl⁻ como ión más tóxico para la caña de azúcar. La suplementación con

CaCl₂ no contrarrestó significativamente el efecto desfavorable de las sales simples sobre el crecimiento y la morfología radical, lo que puede atribuirse a la utilización de Cl como anión acompañante. La tolerancia a la salinidad de PR692176 sobre V78-1 puede explicarse, al menos en parte, por la capacidad del primer genotipo para diluir las sales que llegan a las hojas debido a una TREF más alta, aunada al desarrollo de una superficie radical mayor bajo condiciones salinas.

Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela por el financiamiento otorgado para esta investigación, a través del Proyecto No. 01.31.4692.2004. También al Ing. Agr. MSc Luis Zérega, por sus valiosas orientaciones en cuanto a la selección del material genético a utilizar y las sales a evaluar. Asimismo a la Ing. Agr. Rosalba Tovar del Central El Palmar, por su cooperación en el suministro de vitroplantas de las dos variedades.

Literatura citada

- Alberico, G. y G. Cramer. 1993. Is salt tolerance of maize related to sodium exclusion? I. Preliminary screening of seven cultivars. *J. Plant Nut.* 16:2289-2303.
- An, P., S. Inanaga, U. Cohen, U. Kalkafi y U. Sugimoto. 2002. Salt tolerance in two soybean cultivars. *J. Plant Nut.* 25:407-423.
- Asch, F., M. Dingkuhn y K. Dorffling. 2000. Salinity increases CO₂ assimilation but reduces growth in field-grown irrigated rice. *Plant Soil* 218:1-10.
- Bañulus, J., F. Legaz y E. Primo-Millo. 1991. Salinity-calcium interactions on growth and ionic concentration of citrus plants. *Plant Soil* 133:39-46.
- Bartels, D. y R. Sunkan. 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Critical Rev. Plant Sci.* 24:23-58.
- Bernstein, L., E. Francois y R. Clark. 1966. Salt tolerance of N.Co. varieties of sugarcane. I. Sprouting, growth and yield. *Agron. J.* 58:489-493.
- Bohm, W. 1979. *Methods of studying root system.* Springer Verlag, Berlin. 188 p.
- Bohnert, H., N. Donald y R. Jensen. 1995. Adaptation to environmental stresses. *Plant Cell* 7:1099-1011.
- Boursier, P. y A. Läuchli. 1990. Growth responses and mineral nutrient relations of salt-stressed sorghum. *Crop Sci.* 30:1126-1233.
- Cramer, G. 2002. Sodium-calcium interactions under salinity stress. pp: 205-228. En: A. Läuchli y U. Lüttge (Eds.). *Salinity: Environment – Plant – Molecules.* Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Cramer, G., J. Alberico y C. Schmidt. 1994. Leaf expansion limits dry matter accumulation of salt-stressed maize. *Aust. J. Plant Physiol.* 21:663-674.
- Douglas, T. y R. Walker. 1984. Phospholipid, free sterol and adenosine triphosphatase of plasma membrane-enriched preparations from roots of citrus genotypes differing in chloride exclusion ability. *Physiol. Plant.* 62:51-58.
- García, M. y D. Jáuregui. 2008. Efecto de la salinización con NaCl o Na₂SO₄ sobre la anatomía foliar en dos genotipos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) con tolerancia salina diferencial. *Ernstia* 18(1): 89-105.
- García, M. y E. Medina. 2009. Acumulación de iones y solutos orgánicos en dos

- genotipos de caña de azúcar estresados con sales simples o suplementadas con calcio. *Bioagro* 21: 3-14.
- García, M. y E. Medina. 2003. Crecimiento y acumulación de prolina en dos genotipos de caña de azúcar sometidos a salinización con cloruro de sodio. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 20:168-179.
- González, H., J. Roberts, W. Jordan y M. Drew. 1997. Growth, water relations, and accumulation of organic and inorganic solutes in roots of maize seedling during salt stress. *Plant Physiol.* 113:881-893.
- González, V., S. Castroni y M. Fuchs. 1996. Evaluación de la reacción de genotipos de caña de azúcar a diferentes concentraciones de NaCl. *Agron. Trop.* 46:219-232.
- Greenway, H. y R. Munns. 1980. Mechanisms of plant tolerance in nonhalophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31:149-190.
- Hernández, J., L. Zérega y A. Ordozgoitti. 2000. Causa del necrosado del borde de las hojas y retraso en el crecimiento de la caña de azúcar (*Saccharum spp* híbrido) en el Bajo Yaracuy. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 17:236-238.
- Hunt, R. 1982. Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis. University Park, Baltimore. 248 p.
- Kumar, S., K. Naidu y H. Sehtiya. 1994. Causes of growth reduction in elongating and expanding leaf tissue of sugar cane under saline conditions. *Aut. J. Plant Physiol.* 21:71-83.
- Lacerda, C. 2005. Interação salinidade x nutrição mineral. pp: 127-137. En: R. Custódio, E. Araújo, L. Gomes y U. Cavalcante (Eds.). *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*. MXM Gráfica e editora. Recife, Brazil.
- Lingle, S., R. Wiedenfeld y J. Irvine. 2000. Sugar cane response to saline irrigation water. *J. Plant Nut.* 23:469-486.
- Maas, E. 1990. Crop salt tolerance. pp: 262-304. En: K Tanji (Ed.). *Agricultural salinity assessment and management*. Asce. NY. USA.
- Munns, R., R. James y A. Läuchli. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot.* 57:1025-1043
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell Environ.* 25:239-250.
- Munns, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ.* 16:15-24.
- Munns, R., D. Schachtman y A. Cordon. 1995. The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 22:561-569.
- Pla, I. 1985. Origen, distribución y diagnóstico de suelos afectados por sales en condiciones tropicales. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 14:125-150.
- Plaut, F., C. Meinzer y E. Federman. 2000. Leaf development, transpiration and ion uptake and distribution in sugar cane cultivars grown under salinity. *Plant Soil* 218:59-69.
- Rengel, Z. 1992. The role of calcium in salt toxicity. *Plant Cell Environ.* 15:625-632.
- Samson, B. y T. Sinclair. 1994. Soil core and minirhizotron comparison for the determination of root length density. *Plant Soil* 161:225-232.
- Syed, M. y S. El-Swaify. 1972. Effect of saline water irrigation on N.Co.310 and H50-7209 cultivars of sugarcane. I. Growth parameters. *Trop. Agri. (Trinidad)* 49:337-346.
- Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.* 63:995-1001.
- Villafañe, R. 1996. Tolerancia a la salinidad y al sodio de seis variedades de caña de azúcar en Venezuela. *Agron. Trop.* 46:85-99.

- Wahid, A. 2004. Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugar cane. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 46:135-142.
- Wahid, A., A. Rao y E. Rasul. 1997. Identification of salt tolerance traits in sugarcane lines. *Field Crop Res.* 54:9-17.
- Weimberg, R. 1988. Modification of foliar solute concentrations by calcium in two species of wheat stressed with sodium chloride and/or potassium chloride. *Physiol. Plant.* 73:418-425.
- Yeo, A. y T. Flowers. 1985. The absence of an effect of the Na/Ca ratio on sodium chloride uptake by rice (*Oryza sativa* L.). *New Phytol.* 99:81-90.
- Yeo, A., K. Lee, P. IZARD, P. Boursier y T. Flowers. 1991. Short-and-long term effects of salinity on leaf growth in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Exp. Bot.* 42:881-889.
- Zekri, M. y L. Parsons. 1990. Calcium influences growth and leaf mineral concentration of citrus under saline conditions. *HortSci.* 25:784-786.
- Zérega, L., T. Hernández y J. Valladares. 1995. Efecto de 3 enmiendas sobre un suelo salino-sódico con 9 variedades de caña de azúcar. *Caña de Azúcar* 13:51-64.
- Zérega, L., T. Hernández y J. Valladares. 1991. Evaluación de 14 variedades de caña de azúcar en dos suelos afectados por sales, bajo condiciones de umbráculo. *Caña de Azúcar* 9:81-98.