

Germinación y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.) bajo soluciones osmóticas. I. NaCl

Seed germination and seedling growth of three corn (*Zea mays* L.) hybrids under osmotic solutions. I. NaCl

J.R. Méndez Natera, F.T. Ybarra Pérez y J.F. Merazo Pinto

Departamento de Agronomía, Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad de Oriente, Maturín, 6201, Monagas. Venezuela.

Resumen

El objetivo fue evaluar el efecto de cinco potenciales osmóticos (PO), creados con NaCl sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz. Se utilizó un diseño de bloques al azar en arreglo factorial con cuatro repeticiones. Los factores fueron el PO a cinco niveles: -0,0; -0,3; -0,6; -0,9 y -1,2 MPa e híbridos de maíz a tres niveles (Cargill-633, Himeca-2003 y Pioneer-3031). Cargill-633 e Himeca-2003 presentaron similares porcentajes de germinación (PG) y longitud radicular (LR) pero superiores a Pioneer-3031. A -1,2 MPa, la disminución fue 84,69% para PG y 91,33% para biomasa del vástago, a -0,9 MPa, la disminución fue 99,87% para altura de plántula y 97,92% para LR. La biomasa de la radícula decreció con la disminución del PO. El PO -0,3 MPa se sugiere para discriminar genotipos para tolerancia a la salinidad.

Palabras clave: maíz, *Zea mays*, estrés salino, estrés hídrico, NaCl, selección.

Abstract

The objective was to evaluate the effect of five osmotic potentials (OP) created with sodium chloride on seed germination and seedling growth of corn. A 3x5 factorial experiment in a randomized complete block design was used with four replications. Factors were OP at five levels: -0.0; -0.3; -0.6; -0.9 and -1.2 MPa and corn hybrids at three levels (Cargill-633, Himeca-2003 and Pioneer-

3031). Cargill-633 and Himeca-2003 presented similar germination percentages (GP) and radicle lengths (RL) but higher than those of Pioneer-3031. At -1,2 MPa, decrease was 84.69% for GP and 91.33% for shoot biomass, at -0.9 MPa, reduction was 99.87% for seedling height and 97.92% for RL. Radicle biomass declined as OP diminished. PO of -0.3 MPa is suggested to discriminate among genotypes for salinity tolerance.

Key words: corn, *Zea mays*, salinity stress, water stress, NaCl, selection.

Introducción

En Venezuela, el maíz (*Zea mays* L.), es un cultivo de gran importancia económica siendo producto principal de la dieta básica y de consumo masivo en diversas preparaciones, particularmente como harina precocida. También constituye para el país un rubro importante debido a que la mayor parte de la producción se destina al consumo humano y el resto para abastecer la demanda, cada vez mayor de la industria procesadora de alimentos concentrados para animales. Este cereal es el de mayor importancia en el estado Monagas desde el punto de vista de la superficie sembrada, además este cultivo se desarrolla en algunas áreas salinas del Oriente del país, de allí que las técnicas que permitan identificar genotipos resistentes y/o tolerantes a la salinidad tendrían un gran valor para el mejoramiento genético de este rubro.

El desarrollo de cultivares capaces de germinar bajo un elevado estrés salino, sería de mucha utilidad en la recuperación de las actividades agrícolas de suelos con altos contenidos de sal, uno de los principales problemas ha sido el desarrollo de métodos uniformes repetitivos para seleccionar la capacidad de germinar bajo las condiciones de estrés salino (Chatterton

Introduction

In Venezuela corn (*Zea mays* L.) is a crop with huge economic importance being a main product on the diet, with massive consumption in diverse preparations, particularly in pre-cooked flour. It also constitutes for the country an important product since the highest part of its production is destined to the human use and the rest to provide the demand, which is higher in the processing industry of concentrated food for animals. This cereal is the one with higher importance in Monagas state, from the point of view of the sowed surface, also, this crop develops in some saline areas in the West of the country, therefore, the techniques that allows identifying the resistant genotypes and or tolerant to salinity have a great importance for the genetic improvements of this product.

The development of cultivars able to germinate under an elevated saline stress would be very useful in the recuperation of agriculture activities in soils with high contents of salt, one of the main problems have been the development of uniform and repetitive methods to select the germination capacity under saline stress conditions (Chatterton and Mckell, 1969). Germination and the seedlings characteristics have been

y Mckell, 1969). La germinación y las características de las plántulas han sido los criterios más viables usados para la selección de la tolerancia de las plantas a la salinidad. El porcentaje de germinación, la velocidad de germinación y el crecimiento de las plántulas son criterios usados para la selección de cultivares (Bybordi y Tabatabaei, 2009). Almansouri *et al.* (2001) señalaron que la selección para resistencia a la salinidad parece una tarea laboriosa y arriesgada y los mejoradores de plantas están, por lo tanto, buscando formas rápidas, baratas y confiables para determinar la resistencia a las sales de los materiales genéticos evaluados.

Turan *et al.* (2010) en un experimento bajo condiciones de invernadero, aplicaron cloruro de sodio a 0, 25, 50, 75 y 100 nM y encontraron que la salinidad inhibió el crecimiento del vástago y de la radícula de las plantas de maíz y el cloruro de sodio redujo la biomasa seca del vástago y de la radícula. El objetivo fue evaluar el efecto de cinco potenciales osmóticos creados con cloruro de sodio sobre la capacidad de germinación de las semillas y posterior crecimiento de las plántulas de tres híbridos de maíz.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en el Laboratorio del Postgrado de Agricultura Tropical, Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Maturín, estado Monagas, Venezuela. Se usaron los híbridos comerciales de maíz Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031, ampliamente sembrados en el oriente del país. Las semillas tuvieron un

the most used criteria for selecting the seedlings tolerance towards salinity. The germination percentage, germination velocity and seedlings growth are criteria used for selecting the cultivars (Bybordi and Tabatabaei, 2009). Almansouri *et al.*, (2001) mentioned that the selection for the salinity resistance seems to be a laborious and risky work, and plants improvers are, therefore, looking for fast, cheap and trustable ways to determine the resistance towards salts of the evaluated genetic materials.

Turan *et al.*, (2010) in an experiment under threshold conditions, applied sodium chloride at 0, 25, 50, 75 and 100 nM, and found that salinity inhibited the shoot growth and the radicle of corn plants, and the sodium chloride reduced the shoot dry biomass and the radicle dry biomass. The objective was to evaluate the effect of five osmotic potentials created with sodium chloride on the capacity of seeds germination and the posterior growth of seedlings in three corn hybrids.

Materials and methods

The research was done at the Tropical Agriculture Laboratory of the Post graduate studies at the «Universidad de Oriente», Monagas campus, Maturin, Monagas state, Venezuela. The commercial hybrids were used Cargill 633, Himeca 2003 and Pioneer 3031, widely sowed in the west side of the country. Seeds had an average humidity content of 12%. The essay was done in factorial arrangements at random with four replications, a factor was constituted

contenido de humedad promedio de 12%. El ensayo se realizó en un diseño de bloques al azar en arreglo factorial con cuatro repeticiones, un factor estuvo constituido por potenciales osmóticos con cinco niveles y el otro factor correspondió a híbridos de maíz con tres niveles. Los potenciales osmóticos creados con cloruro de sodio se estimaron de acuerdo a la ecuación de J.H. Van't Hoff (Salisbury y Ross, 1991). Los potenciales osmóticos de -0,0; -0,3; -0,6; -0,9 y -1,2 MPa se obtuvieron agregando 0,00; 3,91; 7,82; 11,73 y 15,64 g de NaCl, respectivamente, en un litro de agua. Se usaron 500 semillas de cada híbrido, posteriormente se separaron en bolsitas de plástico de 25 semillas cada una, luego se desinfectaron con una solución de cloro comercial al 10% (10 mL de cloro comercial.100 mL de agua⁻¹) durante tres minutos, enjuagándose luego con agua para eliminar el exceso de cloro. Posteriormente se procedió a la siembra en el laboratorio de la siguiente manera: las semillas fueron distribuidas en hileras de 25 semillas de cada uno de los híbridos, en hojas de papel absorbente colocadas sobre bandejas de aluminio y luego se cubrieron con dos hojas de dicho papel, mantenidas a condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa. Las semillas se humedecieron diariamente aplicando las soluciones osmóticas de cloruro de sodio dos veces al día durante 12 días.

Las plántulas se cosecharon a los 12 días después de la siembra y se determinaron los siguientes caracteres: porcentaje de germinación; altura de la plántula (cm); longitud de la raíz (cm); número de hojas.plántula⁻¹;

by osmotic potentials with five levels and the other factor corresponded to corn hybrids with three levels. The osmotic potentials created with sodium chloride were estimated according to J,H Van't Hoff equation (Salisbury and Ross, 1991). The osmotic potentials of -0.0, -0.3, -0.6, -0.9, and -1.2 MPa were obtained adding 0.00, 3.91, 7.82, 11.73 and 15.64 g of NaCl, respectively, in a liter of water. 500 seeds of each hybrid were used, posterior, 25 seeds of each hybrids were divided in plastic bags, then were disinfected with a solution of commercial chloride at 10% (10 ml of commercial chloride ·100 ml of water⁻¹) for three minutes, washing them with water to eliminate the excess of chloride. Subsequently, it was proceeded to sow in the laboratory in the following way: seeds were distributed in lines of 25 seeds of each hybrid, in absorbent tissue paper and put on aluminum trays, later were covered with two sheets of the mentioned paper, kept at environmental conditions of temperature and relative humidity. Seeds were watered daily applying osmotic solutions of sodium chloride twice a day for 12 days.

Seedlings were harvested 12 days after the sowing, and the following characteristics were determined: germination percentage; seedlings height (cm); roots longitude (cm); number of leaves ·seedling⁻¹; shoot dry biomass (g) radical dry biomass (g); relation of seedlings height longitude of radical⁻¹ and shoot dry biomass radicle dry biomass⁻¹. The conventional variance analysis was done. The differences among the

biomasa seca del vástago (g); biomasa seca de radícula (g); relación altura de plántula.longitud de radícula⁻¹ y relación biomasa seca vástago biomasa seca de radícula⁻¹. Se realizó el análisis de varianza convencional. Las diferencias entre los promedios para el efecto principal de cultivares se detectó mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan, mientras que si el efecto principal potenciales osmóticos o la interacción cultivares x potenciales osmóticos fueron significativos se realizó el análisis de regresión correspondiente. En todos los análisis estadísticos se utilizó un nivel de probabilidad de 0,05. Previamente al análisis de varianza, los porcentajes de germinación se transformaron mediante Arc Seno $\sqrt{(x+3/8)/(n+3/4)}$, mientras que el resto de los caracteres se transformaron mediante la fórmula $\sqrt{(x+0,5)}$.

Resultados y discusión

El análisis de varianza y de regresión para los caracteres evaluados (datos no mostrados) indicó que sólo hubo interacción significativa para el número de hojas y la biomasa de la radícula. El potencial osmótico fue significativo para el porcentaje de germinación, altura de planta, longitud de la radícula, biomasa seca del vástago y la relación altura de planta longitud de la radícula⁻¹. La relación biomasa del vástago biomasa de la radícula⁻¹ fue no significativa para todas las fuentes de variación y presentó un promedio general de 1,20. El efecto cultivares sólo fue significativo para el porcentaje de germinación

averages for the main effect of cultivars were detected using Duncan multiple rank test, while the main effect of osmotic potentials and the interaction on cultivars x osmotic potentials were evaluated using the corresponding regression analysis. In all statistical analysis, a probability level of 0.05 was used. Prior to the variance analysis, the germination percentages were transformed through Arc Seno $\sqrt{(x+3/8)/(n+3/4)}$, while the rest of the characteristics were transformed with the formula $\sqrt{(x+0,5)}$.

Results and discussion

The variance and regression analysis for the evaluated characteristics (data not shown) indicated that there was only significant interaction for the number of leaves and the radicle biomass. The osmotic potential was significant for the germination percentage, height of the plant, longitude of the radical, shoot dry biomass and the relation of plant's height.longitude of the radical⁻¹. The relation of shoot dry biomass.radicle biomass⁻¹ was not significant for all the variation sources, and presented a general average of 1.20. The cultivar effect was only significant for the germination percentage and the radical longitude. All the regression equations presented a high adjustment ($R^2 > 92.00\%$), except the relation seedling height radicles longitude⁻¹ which had a value of 79.23% and the shoot dry biomass radicle biomass⁻¹ which did not adjust to any regression model.

y la longitud de la radícula. Todas las ecuaciones de regresión presentaron un alto ajuste ($R^2 > 92,00\%$), excepto la relación altura de plántula longitud de la radícula⁻¹ que tuvo un valor de 79,23% y la relación biomasa del vástago biomasa de la radícula⁻¹ la cual no se ajustó a ningún modelo de regresión.

En el cuadro 1 se muestra la prueba de Duncan para tres caracteres en los tres híbridos de maíz. Para el porcentaje de germinación y longitud de la radícula, se observó que Cargill 633 e Himeca 2003 presentaron similares porcentajes y longitudes entre sí, pero superiores a aquellos de Pioneer 3031, en cuanto a la biomasa del vástago, se observó que Cargill 633 presentó vástagos más pesados que Pioneer 3031, pero similares a aquellos de Himeca 2003.

La figura 1 muestra el análisis de regresión de los caracteres bajo

In table 1 is shown Duncan test for three characteristics in three corn hybrids. For the germination percentage and radicle longitude was observed that Cargill 633 and Himeca 2003 presented similar percentages and longitudes among them, but superior to those of Pioneer 3031 regarding the shoot dry biomass, it was observed that Cargill 633 presented heavier shoots than Pioneer 3031, but similar to those for Himeca 2003.

figure 1 shows the regression analysis of the characteristics under study which resulted significant to the sources of variation osmotic potentials or the cultivars interaction x osmotic potentials. For the germination percentage (figure 1A), seedling height and radicle longitude (figure 1B), shoot dry biomass (figure 1D) and the relation of seedling height radicle height⁻¹ (figure 1E) the responses were

Cuadro 1. Promedios para el porcentaje de germinación, longitud de la radícula (cm) y biomasa seca del vástago (g) de tres cultivares de maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes potenciales osmóticos creados con cloruro de sodio. Efecto de los cultivares.

Table 1. Averages for the germination percentage, radicle longitude (cm) and shoot dry biomass (g) of three corn cultivars (*Zea mays* L.) under different osmotic potentials created by sodium chloride. Cultivars effect.

Cultivares	Porcentaje de germinación	Longitud de radícula (cm)	Biomasa seca del vástago (g)
Cargill 633	63,45 ^{A†}	4,48 ^A	0,0227 ^A
Himeca 2003	64,10 ^A	4,49 ^A	0,0198 ^{AB}
Pioneer 3031	49,88 ^B	3,37 ^B	0,0170 ^B

†Prueba de rangos múltiples de Duncan ($P \leq 0,05$). Letras iguales indican similitud estadística.

estudio que resultaron significativos para las fuentes de variación potenciales osmóticos ó la interacción cultivares x potenciales osmóticos. Para el porcentaje de germinación (Figura 1A), altura de plántula y longitud de radícula (figura 1B), biomasa seca del vástago (figura 1D) y la relación altura de plántula-longitud de radícula⁻¹ (figura 1E) las respuestas fueron cúbica, cúbica, cúbica, cuadrática y lineal, respectivamente, como promedio de los cultivares; es decir, la interacción fue no significativa. Para el número de hojas.plántula⁻¹ (figura 1C) y biomasa seca de radícula (figura 1D), la interacción cultivares x potenciales osmóticos fue significativa, con respuestas cúbicas en los tres híbridos para el número de hojas y respuestas cúbica, cuadrática y cuadrática para Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031, respectivamente para la biomasa seca de radícula.

Los mayores porcentajes de germinación se obtuvieron a -0,0 y -0,3 MPa, similares resultados reportaron Méndez-Natera y Merazo-Pinto (1997) trabajando con el híbrido de maíz PB-8 y encontraron que el porcentaje de germinación de las semillas fue similar a -0,0 y -0,3 MPa (alrededor del 93%) pero superior a aquel obtenido con potenciales osmóticos de -0,5; -0,8 y -1,0 MPa (<80%). Farsiani y Ghobadi (2009) indicaron que el porcentaje de germinación en diferentes niveles de estrés salino (NaCl) y diferentes variedades de maíz fue significativo para ambos factores pero la interacción entre ellos fue no significativa y los resultados de los promedios indicaron que el porcentaje de

cubic, cubic, cubic, quadratic and lineal, respectively, as cultivar averages, that is, the interaction was not significant. For the number of leaves.seedling⁻¹ (figure 1C) and shoot dry biomass (figure 1D), the cultivars interaction x osmotic potentials were significant, with cubic responses in the three corn hybrids for the number of leaves and cubic, quadratic and quadratic responses for Cargill 633, Himeca 2003 and Pioneer 3031, respectively for the radicle dry biomass.

The highest germination percentages were obtained at -0.0 and -0.3 MPa, Méndez-Natera and Merazo-Pinto (1997) reported similar results when working with the corn hybrid PB-8 and found that the germination percentage of seeds was similar to -0.0 and -0.3 MPa (around 93%) but superior to the obtained with osmotic percentages of -0.5, -0.8 and -1.0 MPa (< 80%). Farsiani y Ghobadi (2009) indicated that the germination percentage in different levels of saline stress (NaCl) and different varieties of corn were significant for both factors, but the interaction among them was not significant and the results of the averages indicated that the germination percentage in sweet corn was higher than in smooth corn. The interaction averages showed that the maximum germination (90%) in sweet corn (witness) was not any different than smooth corn.

Germination is one of the most critical periods for a crop submitted to salinity. The soil salinity may influence in the germination of canola seeds (*Brassica napus* L.), or in the creation of osmotic potential external

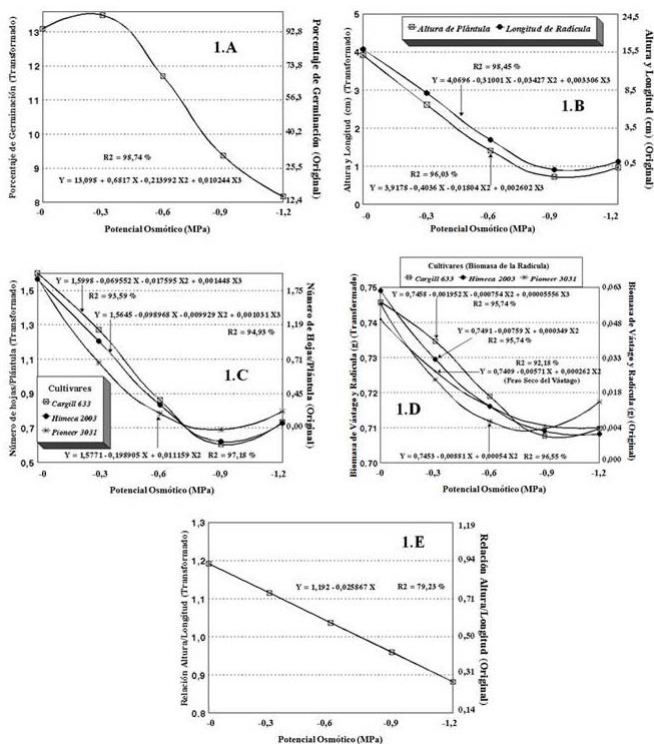


Figura 1. Análisis de regresión para el porcentaje de germinación de las semillas (1A), altura de plántula (cm) (1B), longitud de la radícula (cm) (1B), número de hojas.plántula⁻¹ (1C), biomasa seca del vástago (g) (1D), biomasa seca de la radícula (g) (1D) y la relación altura de plántula.longitud de radícula⁻¹ (1E) a los 12 días después de la siembra de tres cultivares de maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes potenciales osmóticos creados con cloruro de sodio. El porcentaje de germinación se transformó mediante Arc Seno $\sqrt{(x+3/8)/(n+3/4)}$, mientras que el resto de los caracteres se transformaron mediante $\sqrt{(x+0,5)}$.

Figure 1. Regression analysis for the germination percentage of seeds (1A), seedling height (cm) (1B), radicle longitude (cm) (1b), number of leaves.seedling⁻¹ (1C), shoot dry biomass (g) (1D), radicle dry biomass (g) (1D) and the relation of seedling.radicle longitude⁻¹ (1E) 12 days after the sowing of three corn cultivars (*Zea mays* L.) under different osmotic potentials created with sodium chloride. The germination percentage was transformed through Arc Seno $\sqrt{(x+3/8)/(n+3/4)}$ while the rest of the characteristics were transformed with $\sqrt{(x+0,5)}$.

germinación en maíz dulce fue mayor a aquel del maíz tipo liso. Los promedios de la interacción mostraron que la máxima germinación (90%) en maíz dulce (testigo) no fue diferente a aquella de maíz tipo liso.

La germinación es uno de los períodos más críticos para un cultivo sometido a la salinidad. La salinidad del suelo puede influir en la germinación de semillas de canola (*Brassica napus* L.), o bien mediante la creación de un potencial osmótico externo a la semilla previniendo la absorción de agua, o los efectos tóxicos de los iones Na y Cl sobre la germinación de las semillas (Bybordi y Tabatabaei, 2009).

El porcentaje de germinación se incrementó 8,41% a -0,3 MPa, para luego decrecer con disminuciones del potencial, la germinación se redujo 84,69% a -1,2 MPa (figura 1A). El daño por sales a la germinación de las semillas se atribuyó a varios factores tales como reducción en la disponibilidad de agua, cambios en la movilización de reservas almacenadas y afectación de la organización estructural de las proteínas (Almansouri *et al.*, 2001). La disminución de la germinación de las semillas bajo condiciones de estrés salino se podría deber a la ocurrencia de algunos desórdenes metabólicos, la disminución del porcentaje de germinación estuvo relacionada con la reducción de la absorción de agua de las semillas en las etapas de imbibición y turgencia de las semillas (Bybordi y Tabatabaei, 2009).

Cha-Um y Kirdmanee (2009) encontraron que el potencial osmótico disminuyó abruptamente cuando el

to the seed coming from the water absorption, or the toxic effect of ions Na and Cl on the seeds germination (Bybordi and Tabatabaei, 2009).

The germination percentage increased 8.41% to -0.3 MPa, and then decreased with potential reductions, the germination reduced 84.69% to 1.2 MPa (figure 1A): the damage by salts in the seeds germination was attributed to different factors such as reduction in the availability of water, changes in the mobilization of stored reservoirs and damage of the structural organization of proteins (Almansouri *et al.*, 2001). The germination reduction of seeds under saline stress may be due to the occurrence of some metabolic disorders, the percentage reduction of germination was related to a reduction of the water absorption in seeds in the inhibition and swelling phases of seeds (Bybordi y Tabatabaei, 2009).

Cha-Um and Kirdmanee (2009) found that the osmotic potential reduced abruptly when sodium chloride was applied to the culture and this carried a water deficit in corn seedlings and indicated that the osmotic stress and the ion toxicity, as a result of the saline stress in corn plants, were well established, and a low osmotic potential in the media, containing salts, was one of the main factors that affected the efficiency of the water use in corn plants.

The results for the growth characteristics of seedlings were in concordance to those of Farsiani and Ghobadi (2009) pointing that the variety effects and the levels of saline stress on the radicle longitude and

cloruro de sodio se aplicó al medio de cultivo y esto condujo a un déficit hídrico en las plántulas de maíz e indicaron que el estrés osmótico y la toxicidad iónica resultado del estrés salino en las plantas de maíz estuvieron bien establecidos y un bajo potencial osmótico en el medio conteniendo las sales fue uno de los principales factores que afectaron la eficiencia del uso del agua en las plantas de maíz.

Los resultados para los caracteres del crecimiento de plántulas estuvieron en concordancia a aquellos de Farsiani y Ghobadi (2009) señalando que los efectos de la variedad y los niveles de estrés salino sobre la longitud de la radícula y plúmula fueron significativos pero la interacción entre estos dos factores fue significativa para la longitud de plúmula y no para la longitud de la radícula. Los autores indicaron que la comparación de promedios reveló que la longitud de la radícula y de la plúmula del maíz liso fue mayor que aquella del maíz dulce, sugiriendo que el maíz liso fue más resistente que el tipo dulce bajo condiciones de estrés para estos caracteres, estos investigadores encontraron que el efecto de la variedad y los niveles de estrés y su interacción sobre la biomasa seca radicular fueron significativos mientras que la biomasa seca de la plúmula fue significativa en los niveles de estrés pero no significativa para el efecto del cultivar y la interacción entre ellos.

Las mayores reducciones de la altura de la plántula y longitud de radícula ocurrieron a -0,9 y -1,2 MPa con 99,87 y 96,99% respectivamente para la plántula y 97,92 y 95,20% para la radícula, en cuanto el número de

plumule were significant, but the interaction among these two factors was significant for plumula but not for the radicle longitude. The authors indicated that the average comparison revealed that the radicle longitude and the plumule of smooth corn was higher than in sweet corn, suggesting that smooth corn was more resistant than sweet corn under stress conditions, for these characteristics, these authors found that the variety effect, the stress levels and the interaction on the radicle dry biomass were significant, while, the plumule dry biomass was significant in the stress levels but not significant for the cultivar effect and the interaction among them.

The highest reductions of seedlings height and radicle longitude occurred at -0.9 and 1.2 with 99.87 and 96.99 % respectively for the seedling, and 97.92 and 95.20% for the radicle, regarding the number of leaves, the highest reduction occurred at -0.9 MPa in three cultivars (Figure 1B). This information suggested that the growth of the air part was slightly affected by salinity than in the root. Turan et al. (2010) indicated that roots seems to be more resistant to salinity than the foliage of plants, and this might be due to the fact that at higher levels of sodium chloride, the osmotic effect might have inhibited the shoot growth.

Bybordi and Tabatabaei (2009) reported that the radicle longitude and seedling were important characteristics in the evaluation of the susceptibility towards saline stress. The growth reduction of the root and seedling may be related to the toxicity

hojas la mayor reducción ocurrió a -0,9 MPa en los tres cultivares (figura 1B). Estos datos sugieren que el crecimiento de la parte aérea fue ligeramente más afectado por la salinidad que el de la raíz. Turan *et al.* (2010) indicaron que las raíces parecen ser más resistentes a la salinidad que el follaje de la planta y pudiera deberse al hecho de que a niveles mayores de cloruro de sodio, el efecto osmótico podría haber inhibido el crecimiento del vástago.

Bybordi y Tabatabaei (2009) reportaron que la longitud de la radícula y de la plántula fueron caracteres importantes en la evaluación de la susceptibilidad al estrés salino. La disminución del crecimiento de la raíz y de la plántula podría estar relacionada con la toxicidad del NaCl y la desproporción en la absorción de nutrimentos por las plántulas, la salinidad disminuyó la absorción de agua y nutrimentos y el crecimiento de las raíces y la velocidad de crecimiento de la raíz. Estos autores indicaron que la presencia de NaCl alrededor de las raíces condujo a la degradación de algunas proteínas involucradas en el crecimiento de las raíces y del vástago y que algunas especies presentaron proteínas específicas, estas proteínas tienen una estructura especial y la resistencia a las sales y la germinación se incrementa por estas proteínas, también el estrés salino afecta la α -amilasa y β -amilasa durante la germinación de las semillas.

El número de hojas se redujo en los tres cultivares con incrementos en los niveles de salinidad (menores potenciales osmóticos) (figura 1C). Cha-Um y Kirdmanee (2009) trabajando

of NaCl and the disproportion in the absorption of nutriments per seedlings, the salinity reduced the water absorption and nutriments, and the roots growth and the growth velocity of the root. These authors indicated that the presence of NaCl around the roots conducted to the degrading of some proteins involved in the roots growth and the shoot, and that some species presented specific proteins, these proteins have a special structure and the resistance towards salts and the germination, increase because of these proteins, also, saline stress affects the α -amylase y β -amylase during the germination of seeds.

The number of leaves reduced in the three cultivars with increments in the salinity levels (lower osmotic potentials) (Figure 1C). Cha-Um and Kirdmanee (2009), when working with corn cultivars reported that the foliar area reduced with increments in the salinity levels, as as well as in this essay, they found significant interaction among the stress levels x cultivar. The shoot biomass reduced 91.33% to -1.2 MPa, while the higher reduction of the radicle biomass occurred at 0.9 MPa for Cargill 633 (98.51%) and Pioneer 3031 (93.12%) and -1.2 MPa for Himeca 2003 (97.24%) (figure 1D). Similar results indicated Cha-Um and Kirdmanee (2009) with corn cultivars Saccharata (sweet) and Ceratina (waxy) finding that the dry and fresh biomass of seedlings of both cultivars reduced significantly due to saline stress.

Turan *et al.* (2010) in the cv. RX947 of corn found that the sodium

con dos cultivares de maíz reportaron que el área foliar disminuyó con incrementos en los niveles de salinidad y al igual que en este ensayo, encontraron interacción significativa entre los niveles de estrés x cultivar. La biomasa del vástago se redujo 91,33% a -1,2 MPa, mientras que la mayor reducción de la biomasa de la radícula ocurrió a los -0,9 MPa para Cargill 633 (98,51%) y Pioneer 3031 (93,12%) y a -1,2 MPa para Himeca 2003 (97,24%) (figura 1D). Resultados similares indicaron Cha-Um y Kirdmanee (2009) con los cultivares de maíz Saccharata (dulce) y Ceratina (ceroso) encontrando que la biomasa seca y fresca de las plántulas de ambos cultivares se redujeron significativamente debido al estrés salino.

Turan *et al.* (2010) en el cv. RX947 de maíz, encontraron que el cloruro de sodio aplicado inhibió el crecimiento de las plantas y causó una disminución tanto de la biomasa del vástago como de la raíz. El crecimiento del vástago y de la raíz estuvo negativamente correlacionado con la concentración de cloruro de sodio y las plantas desarrolladas a bajos niveles de cloruro de sodio (0 y 25 mM) alcanzaron relativamente mayores biomásas secas y no hubo síntomas de toxicidad; sin embargo, el crecimiento fue reducido significativamente a mayores niveles de salinidad (50, 75 y 100 mM) indicando los síntomas de toxicidad salina como una depresión del crecimiento, los autores indicaron que las concentraciones de cloruro de sodio que redujeron significativamente las biomásas del vástago y de la raíz fueron 50, 75 y

chloride applied inhibited the growth of plants and caused a reduction in both the shoot biomass and the root. The shoot growth and the root were negatively correlated to the concentration of sodium chloride, and plants developed at low levels of sodium chloride (0 and 25 mM) reached relatively higher dry biomass and there were not toxicity symptoms; however, the growth was significantly reduced at higher levels of salinity (50, 75 and 100 mM) indicating the saline toxicity symptoms as a growth depression, the authors indicated that the concentrations of sodium chloride that reduced significantly the shoot biomass and root were 50, 75 and 100 mM for 23.14, 41.97 and 53.71% for shoot and 17.81, 28.16 and 46.79% for corn respectively, in comparison to the witness, being these reduction percentages lower than the found on this essay for the three corn cultivars, additionally, the authors indicated that the shoot biomass relation.root biomass⁻¹ declined with a salinity increment, resulted that is different to the found in the essay, where this relation was not affected by osmotic potentials.

Conclusion

Cultivars differed much more at -0.3 MPa, suggesting the use of this potential created with sodium chloride to discriminate among genotypes for salinity tolerance. The order of cultivars to the tolerance in this potential was Cargill 633, Himeca 2003 and Pioneer 3031. In general, a reduction in the osmotic potential

100 mM por 23,14; 41,97 y 53,71% para el vástago y 17,81; 28,16 y 46,79% para la raíz, respectivamente, en comparación con el testigo, siendo estos porcentajes de reducción menores a los encontrados en este ensayo para los tres cultivares de maíz, adicionalmente los autores indicaron que la relación biomasa del vástago biomasa de la raíz⁻¹ declinó con incremento de la salinidad, resultado diferente al encontrado en este ensayo donde esta relación no fue afectada por los potenciales osmóticos.

Conclusión

Los cultivares difirieron mucho más a -0,3 MPa, sugiriendo el uso de este potencial creado con cloruro de sodio para discriminar entre genotipos para tolerancia a la salinidad. El orden de los cultivares a la tolerancia en este potencial fue Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031. En general, una disminución en el potencial osmótico (incremento del estrés hídrico y salino) causó una disminución del crecimiento de las plántulas y del porcentaje de germinación.

Literatura citada

Almansouri, M., J.M. Kinet y S. Lutts. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil* 231(2):243-254.

Bybordi, A. y J. Tabatabaei. 2009. Effect of salinity stress on germination and seedling properties in canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj* 37(1):71-76.

(increment of water and salt stress) caused a growth reduction of seedlings and of the germination percentage.

End of english version

Cha-Um, S. y C. Kirdmanee. 2009. Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars. *Pak. J. Bot.* 41(1): 87-98.

Chatterton, J.J. y C.M. Mckell. 1969. *Atriplex polycarpa* L. Germination and growth as affected by sodium chloride in water cultures. *Agronomy Journal* 61:448-450.

Farsiani, A. y M.E. Ghobadi. 2009. Effects of PEG and NaCl stress on two cultivars of corn (*Zea mays* L.) at germination and early seedling stages. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 57(9):382-385.

Méndez Natera, J.R. y J.F. Merazo Pinto. 1997. Efecto de la salinidad sobre la germinación de semillas de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz (*Zea mays* L.) cv. PB-8 bajo condiciones de laboratorio. *SABER* 9(1):54-61.

Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1991. *Plant Physiology*. 4r.e. edition. International Thomson Publishing, USA. 500 p.

Turan, M.A., A.H. Awad Elkarim, N. Taban y S. Taban. 2010. Effect of salt stress on growth and ion distribution and accumulation in shoot and root of maize plant. *African Journal of Agricultural Research* 5(7):584-588.