

Genotipos de Maíz Tolerantes a Salinidad; un Estudio Preliminar para iniciar un Programa de Selección

Noé Musito-Ramírez*, María Cristina Vega-Sánchez, José Guadalupe Rodríguez-Valdés

Instituto Mexicano del Maíz, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

*Autor responsable e-mail: mussitto@GMail.com

Emilio Padrón-Corral

Universidad Autónoma de Coahuila, Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas

Abstract. *Maize genotypes for soil salinity tolerance, an approach to a selection program. Summary.* The objective of this work was to identify maize genotypes tolerant to salinity by means of field and laboratory evaluation. The field experimentation was made during the spring -summer cycle 2002, in Navidad, N. L., México under irrigation conditions. The experimental design was a completely randomized blocks one, in which the following variables were evaluated: grain yield, plant and corncob height, days to feminine and masculine flowering, in 14 genotypes. In one of the repetitions, foliar samples were taken at the moment of appearance of the flag leaf, with intention of determining its mineral contents. The length of radicle and plantule of only 13 genotypes was evaluated in the laboratory (without genotype 8), in five levels of salinity (0, 3, 6, 9, 12 decisiemens), under a completely randomized design with a factorial arrangement. The analyses of variance for genotypes in field showed differences ($p < .01$), and the DMS ($\alpha = 0.01$) test for yield considered genotypes 1 and 2 as statistically equal, with average yields of 6964.3 and 6619.5 kg ha⁻¹, but superior to the An-447 witness (5996.3 kg ha⁻¹). Foliar analysis showed that levels of N, P and K were low, as opposite to those of Ca, Mg and S, which means that these last ones are present in the soil in great amounts and cause its salinity, which causes a deficient absorption of first ones.

Key words: *Zea mays L., salinity of the ground, yield, radicle, plantule.*

Resumen. El objetivo de este trabajo fue identificar genotipos de maíz tolerantes a salinidad mediante la evaluación en campo y laboratorio. La experimentación en campo se realizó durante el ciclo Primavera-Verano de 2002, en Navidad, Nuevo León, bajo condiciones de riego. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, en los cuales se evaluaron las variables: rendimiento de grano, altura de planta y mazorca, días a floración femenina y masculina, en 14 genotipos. En una de las repeticiones, se procedió a tomar muestras foliares en el momento de aparición de la hoja bandera, con propósito de determinar contenidos de minerales. En el laboratorio se evaluó la longitud de la radícula y la plántula de sólo 13 genotipos (sin el genotipo ocho), en cinco niveles de salinidad (0, 3, 6, 9, 12 decisiemens), bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Los análisis de varianza para genotipos en campo mostraron diferencias ($p < .01$), y la prueba DMS ($\alpha = 0.01$) para rendimiento consideró a los genotipos 1 y 2 como estadísticamente iguales, con rendimientos promedio de 6964.3 y 6619.5 kg ha⁻¹, pero superiores al testigo AN-447 (5996.3 kg ha⁻¹). El análisis foliar mostró, que los niveles de N, P y K fueron bajos, caso contrario en cuanto a Ca, Mg y S, lo cual significa que estos últimos se encuentran en el suelo en gran cantidad y propician su salinidad, lo que causa una deficiente absorción de los primeros.

Palabras clave: *Zea mays L., salinidad del suelo, rendimiento, radícula, plántula.*

Introducción

La producción de maíz en México puede incrementarse si se obtienen genotipos altamente rendidores o si se aumenta la superficie cultivada. Tal incremento puede lograrse a través de genotipos que prosperen en condiciones adversas como la de suelos salinos-sódicos, que es un problema en grandes extensiones de terreno. Mass *et al.* (1983) reportan que el maíz es tolerante a la salinidad al germinar, pero sensible en otras etapas, más en la de plántula que en la de maduración o llenado del grano. En otros cultivos se ha ligado el estrés que provoca NaCl con deficiencias de macro nutrientes e. g.; altas concentraciones de NaCl han inducido deficiencias de P y Ken tomate (Adams, 1988; 1991) y en pepino (Sonneveld y Kreij, 1999). Cerda y Binham (1978) reportaron un aumento en la producción de jitomate debido a la aplicación de P en todos los niveles de salinidad estudiados. Patel (1973) observó en maíz, sorgo y trigo que el contenido de K en el tejido de la planta disminuye progresivamente con el aumento de la salinidad debido a una absorción más alta de sodio. En el Programa de Maíz de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) se identificaron, de manera práctica, un grupo de genotipos que exhiben cierta tolerancia a condiciones de salinidad de suelos; por lo tanto, el objetivo de este trabajo es cuantificar los materiales que tengan tolerancia a la salinidad y calificarlos tanto en el campo como en el laboratorio.

Materiales y Métodos

La experimentación de campo de este trabajo se llevó a cabo durante el ciclo Primavera-Verano, en Navidad, N. L., México, localizado en las coordenadas 25° 02' 20" latitud Norte, y 100° 37' 30" latitud Oeste; con una altura de 1885 m, una temperatura promedio anual de 14° C y un suelo con pH de 7.9. La parcela experimental consistió de cuatro surcos de 5 m de longitud, con 21 plantas por surco, de los que se cosecharon sólo los dos surcos centrales. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con seis repeticiones y se estimaron las siguientes variables: rendimiento, altura de la planta, altura de la mazorca, días a floración femenina, días a floración masculina en 14 genotipos (Cuadro 1); para el análisis de contenido de minerales, se tomaron muestras foliares en una repetición al momento de aparición de la hoja bandera, el cual se realizó en los laboratorios del Patronato para la Investigación Agrícola del Estado de Coahuila (PIAEC). La experimentación se llevó a cabo el mes de septiembre del 2002, en el Laboratorio de Calidad Proteínica del

Instituto Mexicano del Maíz de la UAAAN; en él se evaluaron sólo 13 genotipos (sin el genotipo 8, según se indica en el Cuadro 1) y cinco niveles de salinidad (0, 3, 6, 9, 12 decisiemens), que se generaron al utilizar NaCl químicamente puro, bajo un diseño de bloques completamente al azar, con arreglo factorial (5x13). La siembra se realizó en cajas petri, con 3 repeticiones por tratamiento; se depositaron siete semillas por caja, la cual contenía papel filtro y la solución salina correspondiente. Las cajas se colocaron en un cuarto oscuro con temperatura y humedad uniforme; después de 20 días se procedió a medir las variables longitud de radícula (LR) y longitud de plántula (LP).

Cuadro 1. Material genético evaluado para tolerancia a salinidad en la localidad de Navidad, Nuevo León.

Genotipo	Genealogía
1	¹ SPACP X Relumbroso-7-1-2-2-1
2	SPACP X Perla San Isidro-35-3-2-1
3	SPACP X Perla San Isidro-37-4-2-1
4	SPACP X Perla San Isidro-37-5-2-1
5	SPACP X Perla San Isidro-55-1-1-2
6	SPACP X Perla San Isidro-55-1-1-3
7	SPACP X Perla San Isidro-55-1-1-5
8	Sintetico VANLAP-2
9	Sintetico VANLAP-3
10	² VANLAP-2
11	VANLAP-3
12	VANLAP-4
13	¹ SPACP
14	³ AN-447

1 = Sintético Precoz de Alta Calidad Proteínica

2 = Sintético Precoz de Alta Calidad Proteínica

3 = Sintético Precoz de Alta Calidad Proteínica

Resultados y Discusión

Los análisis de varianza para las variables de campo (Cuadro 2) muestran diferencias ($P_0 > 0.1$) tanto para genotipos como para bloques, lo que indica la variación entre genotipos y del terreno, y permite la selección de los genotipos más sobresalientes.

La prueba de rango múltiple DMS al 1% para la variable rendimiento (Cuadro 3), agrupa a los genotipos 1, 2 y 8, correspondientes a híbridos experimentales, como

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia para las variables bajo estudio, diseño de bloques al azar.

FV kg ha⁻¹	GL	Rendimiento	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Días a floración femenina	Días a floración masculina
Bloques	5	3.3735**	321.3619NS	474.2857**	14.4405**	18.1429**
Genotipos	13	1.8554**	928.9963**	543.6923**	12.3013**	11.9927**
s	65	0.5681	303.7106	198.7011	1.6353	1.5685
Error						
C V (%)		12.65	10.61	15.93	1.29	1.29

** Significativo al 0.01 nivel de probabilidad; CV= Coeficiente de variación.

estadísticamente iguales y con los más altos rendimientos promedio por ha, que son de 10 a 16 % superiores al testigo AN-447, genotipo 14, este híbrido es de altos rendimientos (de 8 a 10 t ha⁻¹) cuando se siembra en condiciones favorables cuando se siembra en condiciones favorables

no-salinas.

Mientras tanto, los genotipos 13, 12 y 6 presentaron los más bajos rendimientos promedio a pesar de que dos de ellos son variedades sobresalientes en cuanto a adaptación (13 y 12), mientras que el 6 se deriva de la misma población

Cuadro 3. Prueba DMS al 1% de las variables bajo estudio.

Tratamiento	Rendimiento kg ha⁻¹	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Días a floración femenina	Días a floración masculina
1	*6964.3 a	170 abc	*105 a	99	97
2	6619.5 abc	163 abc	91 b	cdef	cdef
3	5954.5 cd	161 bcd	83 bcd	99	97
4	5871.2 cd	159 cd	91 b	def	def
5	5835.5	181 ab	98 ab	99	97
6	cd	155 cd	82 bcd	cde	cde
7	4915.5 e	141 d	73 cd	99	97 cd
8	5879.2 cd	*183 a	95 ab	cd	96
9	6857.2 ab	170 abx	92 b	98	def
10	5825.7 cd	173 abc	96 ab	def	97
11	5985.8 cd	171 abc	87 bc	99	cdef
12	5898.2 cd	141 d	69 d	cdef	96
13	5361.7	170 abc	91 b	98	ef
14	de	163 abc	88 bc	ef	97
-	5442.5			99	cde
	de	164	89	cd	97
X	5996.3 bcd			99	cdef
				cdef	98 bc
	5957.7			100 bc	96
				98	f
				f	99 ab
				102 ab	100 ab
				101 b	*100 a

*Valores máximos alcanzados en cada variable.

Las medias de los genotipos con la misma letra son estadísticamente iguales.

de la cual provienen los tres genotipos más sobresalientes.

De acuerdo al Plant Analysis Handbook (Jones *et al.* 1999), se presenta el nivel de suficiencia de minerales en los 14 genotipos evaluados en campo y analizados en laboratorio (Cuadro 4). El contenido de P fue bajo para todos los genotipos, por lo que se asume una habilidad del cultivo para aprovechar eficientemente este elemento a fin de contrarrestar el efecto de la sal; esto coincide con lo mencionado por Cerda y Bingham (1978) en sus estudios sobre tomate, en los cuales señalan que un aumento de la producción se debió a la aplicación de P en todos los niveles de salinidad que ellos estudiaron.

constituyentes de sales en la región de estudio.

En cuanto al contenido de N, puede observarse que sólo los genotipos 4, 5, 13 y 14 mostraron un nivel adecuado, mientras que el resto lo tuvieron bajo. En general, los elementos N, P y K, al desempeñarse en funciones de la planta confieren, en forma directa o indirecta, tolerancia al efecto de las sales. En general, los 14 genotipos mostraron un nivel bajo de estos tres elementos y su habilidad para desempeñarse en este ambiente pudo deberse a la constitución genética de cada material para desarrollarse en un estrés salino.

Cuadro 4. Nivel de suficiencia de elementos químicos minerales en 14 genotipos de maíz sometidos a salinidad de campo.

Genotipo	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
1	2.10 ¹	0.18 ¹	1.241	1.453	1.163	1.033	702	14.402	78.002	832	10.5722
2	2.451	0.161	1.902	1.203	1.183	0.693	422	16.102	86.702	502	12.5132
3	2.581	0.101	1.521	1.373	1.153	0.903	482	11.302	112.802	512	8.3832
4	3.751	0.151	1.491	1.353	1.083	0.653	532	12.402	82.202	161	5.5472
5	2.882	0.181	1.671	1.363	1.123	0.633	552	15.402	52.702	852	5.1992
6	2.641	0.201	2.582	1.303	1.233	0.883	442	13.402	115.302	992	10.4732
7	2.101	0.181	1.331	1.333	1.213	0.733	332	16.32	123.702	322	6.9902
8	2.521	0.171	1.722	1.333	1.223	0.713	432	11.702	125.002	171	3.6571
9	2.341	0.151	1.862	1.443	1.213	0.833	422	17.02	128.002	382	2.2141
10	2.551	0.161	1.571	1.203	1.233	0.653	402	18.62	44.202	832	7.6872
11	2.651	0.171	1.401	1.593	1.243	0.702	462	11.82	96.202	872	8.7812
12	2.161	0.161	1.842	1.433	1.233	0.723	452	19.52	78.802	181	10.0752
13	3.062	0.181	1.942	1.032	1.163	0.973	332	14.62	76.802	672	10.0252
14	3.122	0.191	1.661	1.403	1.193	0.853	352	19.42	48.802	392	9.2792

1, 2 y 3 contenido bajo, adecuado y alto, respectivamente.
Fuente: Plant Analysis Handbook. Jones *et al.* 1991.

Respecto al contenido de K, se observó que los genotipos 2, 6, 8, 9, 12 y 13 tuvieron un nivel adecuado, mientras que el resto presentó un nivel bajo, lo cual hace suponer que el K favorece el proceso de osmoregulación como mecanismo de tolerancia a sales, en concordancia con Patel (1973), quien observó que en sorgo, maíz, trigo y zacate Sudán, el contenido de K en el tejido de la planta disminuye progresivamente con el aumento de salinidad, debido a una absorción más alta de Na; además, el K es un elemento asociado con el mantenimiento de la turgencia celular y la regulación de la economía del agua en las células. Es de notarse que el contenido de Na, Mg y S es alto en todos los genotipos, lo que indica la gran cantidad de estos minerales en el suelo y, probablemente, de

El Cuadro 5 concentra los cuadrados medios del experimento de laboratorio para longitud de radícula y plántula en 13 genotipos, dado que el genotipo 8 no se evaluó por insuficiencia de semilla.

La significancia en la fuerte interacción implica que los efectos de los factores no son independientes entre sí, y que cada genotipo responde al cambio de concentración de salinidad. En este caso, no se puede concluir separadamente que un genotipo es el mejor y que un nivel de salinidad es más adecuado sin estudiar a fondo cómo se comporta cada genotipo en los diferentes niveles; por lo tanto, a continuación se detalla la respuesta de la interacción de los genotipos en cada nivel de salinidad para las variables longitud de radícula y plántula.

Cuadro 5. Cuadrados medios y significancia de variables estudiadas bajo condiciones de laboratorio.

FV	GL	Longitud de radícula (cm)	Longitud de plántula (cm)
Genotipos	12	204.0825**	5.5315**
Dosis	4	75.9305**	24.4194**
Interacción	48	9.3731**	3.6243**
Error	130	4.3287	2.1664
C V (%)		30.08	28.81

** Significativo al 0.01 nivel de probabilidad; CV= Coeficiente de variación.

La Figura 1 muestra la longitud radicular de los 13 genotipos, en la cual se observa que para el nivel de conductividad de 0 dS m⁻¹, el genotipo 14 obtuvo la mayor longitud radicular (14.52 cm) seguido por los genotipos 10 y 13; mientras que los genotipos que mostraron el menor crecimiento fueron el 2 y 4, con menos de 4.2 cm. El genotipo 2 fue uno de los más rendidores en campo, sin embargo, su crecimiento en laboratorio fue deficiente debido, probablemente, a que responde adecuadamente a

condiciones ambientales que favorecen el efecto de la salinidad.

Para el nivel de 3 dS m⁻¹ de conductividad, el genotipo 14 (19.74 cm) muestra mejor desarrollo, seguido por el genotipo 9 con 14.65 cm; en tanto que los genotipos 2 y 4 mostraron el menor crecimiento radicular (menor a 4 cm). En el más alto nivel de salinidad (12 3 dS m⁻¹), los genotipos 14 y 10 obtuvieron la mayor longitud (8.87 y 8.32 cm, respectivamente), en tanto que los genotipos 2, 4 y 7 obtuvieron el menor crecimiento con 2.65, 2.53 y 2.41 cm, respectivamente. Como puede verse, se esperaría que cada genotipo mostrara una tendencia descendente respecto a la longitud radicular, tal como lo muestra el genotipo 4, esto es: que a medida que se incremente el nivel de salinidad, la longitud radicular se debiera reducir, lo cual no sucede; este comportamiento puede deberse, probablemente, a que entre los genotipos existen cruza simples, variedades y un testigo híbrido y, por tanto, sus respectivas varianzas genéticas son diferentes, lo que en determinado momento hace que se vean favorecidos o perjudicados ante un ambiente salino.

La Figura 2 muestra la interacción de genotipos con niveles de salinidad; en ella se señala que la longitud de plántula del genotipo 13 seguido por el 5, obtuvieron los valores más altos (7 cm aproximadamente) para 0 dS m⁻¹;

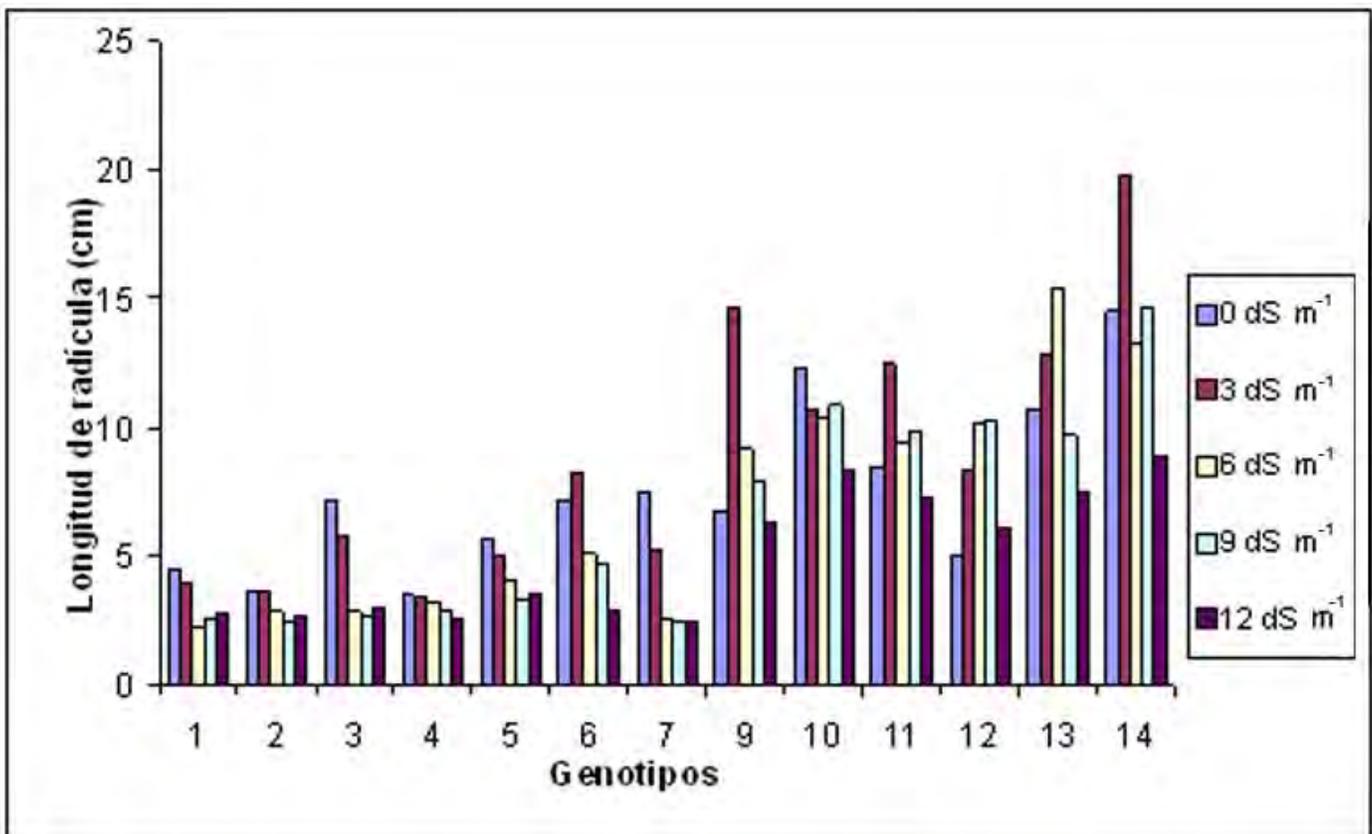


Figura 1. Longitud de radícula de 13 genotipos de maíz en cinco niveles de salinidad.

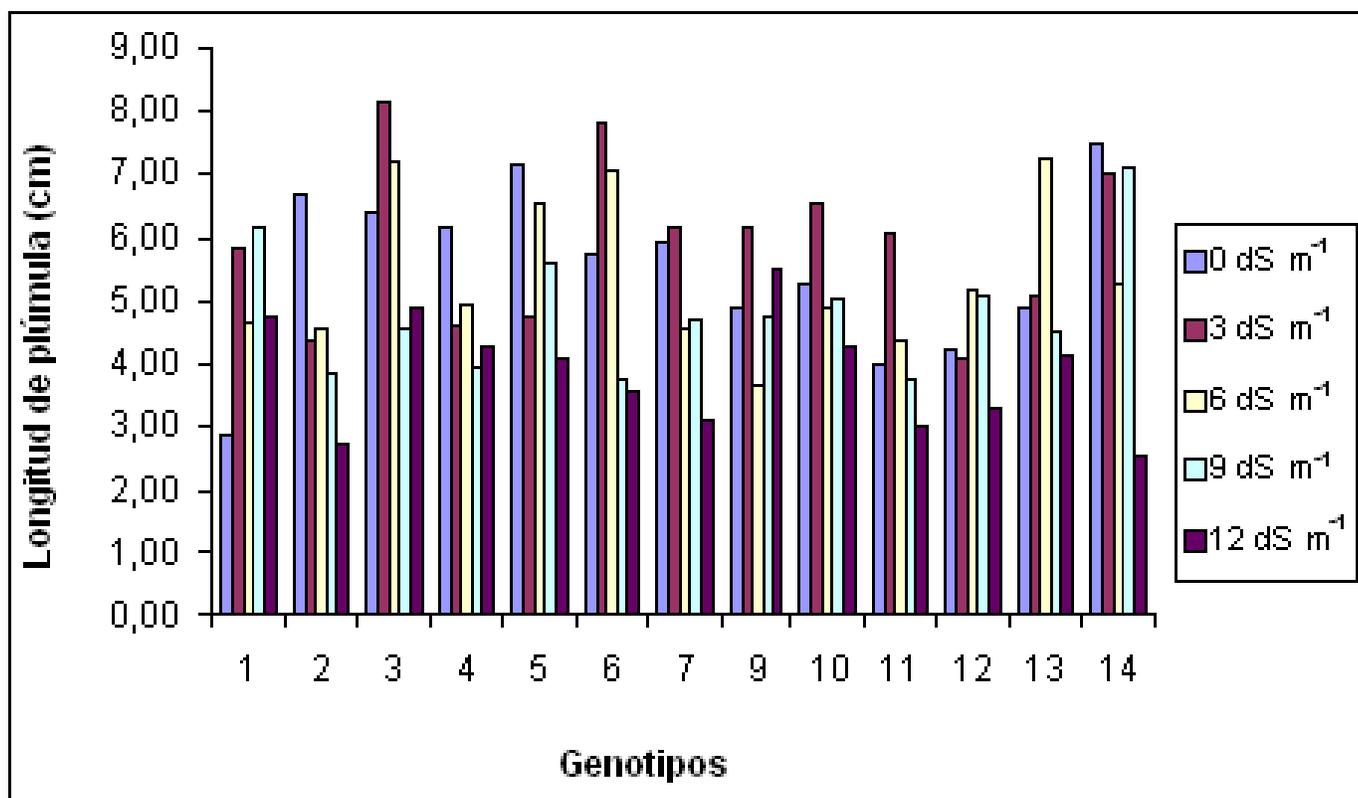


Figura 2. Longitud de plántula de 13 genotipos de maíz en cinco niveles de salinidad.

en tanto que el genotipo 1 obtuvo el menor crecimiento (< de 3 cm).

Para una conductividad eléctrica de 3 dS m⁻¹, los genotipos 3, 6 y 14 mostraron el mayor crecimiento de plántula (8.16, 7.80 y 7.03 cm, respectivamente). Para el nivel de salinidad más alto (12 dS m⁻¹), el genotipo mostró el mayor crecimiento con 5.51 cm; por el contrario, el genotipo 14, que correspondiente al testigo (AN-447), con 2.56 cm de longitud fue el de menor crecimiento.

Cabe señalar que los genotipos que en campo mostraron el mayor rendimiento, no fueron los que obtuvieron el mejor comportamiento en laboratorio ya que, bajo estas condiciones, el testigo exhibió mejor comportamiento, lo cual pudo deberse a la interacción de los genotipos con el ambiente, principalmente con la temperatura que propicia un mayor daño de salinidad a las plantas.

Conclusiones

En el trabajo se detectó variación aprovechable en campo, pero no una tendencia significativa en la experimentación exploratoria en laboratorio.

A partir de los materiales genotípicos utilizados además de otras fuentes de tolerancia a salinidad, puede fundarse una población base para iniciar un programa de

mejoramiento de maíz tolerante a sales.

Literatura Citada

- Adams P. 1988. Some responses of tomatoes grown in Nutrient Film Technique to sodium chloride. Proc. 7. International Cong. Silless Culture, 59-70.
- Adams P. 1991. Effect of Increasing the Salinity of the nutrient solution with mayor nutrients or sodium chloride on the yield quality and composition of tomato grown in Rockwool. J. Hort. Sci. 66(2), 201-207.
- Cerda A. and Bingham F. T. 1978. Yield, mineral composition, and salt tolerance of tomato and wheat as affected by NaCl and phosphorus nutrition. Agrochimica 22, 140.
- Mass, E. V., Hoffman, G. L., Chaba, G. D., Poss, J. A. and Shannon, M. C. 1983. Salt sensitivity of corn at various growth stages. Irrig. Sci. 4, 45-57.
- Patel P. M. 1973. Salinity-fertility interactions for five different crops in relation to yield and chemical composition. Diss. Abstr. Intern. 34, 20.
- Sonneveld C and C Kreij (1999) Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to an unequal distribution of salt in the root environment. Plant Soil. 209, 47-56.