

EFFECTO DE LA SALINIDAD Y DEL TAMAÑO DE LA SEMILLA SOBRE LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO

José A. Laynez-Garsaball¹, Jesús Rafael Méndez-Natera¹
y Juliana Mayz-Figueroa²

¹Escuela de Ingeniería Agronómica, Núcleo Monagas, Universidad de Oriente.
Av. Universidad, Campus Los Guaritos, Maturín, 6201, Monagas, Venezuela.

²Postgrado en Agricultura Tropical, Núcleo Monagas, Universidad de Oriente. Campus Juanico.
Maturín, 6201. E-mails: jalaynezg@yahoo.es, jmendezn@cantv.net y julianamays@cantv.net

RESUMEN

Se estudió la germinación y el crecimiento de plántulas a partir de dos tamaños de semillas, de dos cultivares de maíz, utilizando como sustrato papel absorbente y regados con tres soluciones salinas preparadas con cloruro de sodio. El diseño estadístico fue de parcelas divididas con cuatro repeticiones, en la parcela principal se midieron los potenciales osmóticos (0, - 0.328 y - 0.547 MPa), en las subparcelas los cultivares de maíz (Himeca 95 y Pioneer 361) y en las sub-sub-parcelas los tamaños de las semillas ($\geq 0.32 - 0.36 \leq g$ y $> 0.36 g$). Se realizó un análisis de varianza y la prueba de rangos múltiples de Duncan. El nivel de inferencia fue de 5%. Las disminuciones en el potencial osmótico también disminuyeron la germinación y el crecimiento de las plántulas en dos cultivares. La tolerancia a la salinidad sólo se pudo evaluar en la etapa de germinación con potenciales osmóticos de -0.328 y -0.547 MPa (Pioneer 361 más tolerante que Himeca 95). Se tuvo mayor crecimiento de plántulas (volumen radicular y peso fresco del vástago) a partir de semillas grandes, aunque este crecimiento se perdió al disminuir el potencial osmótico, sugiriendo que el uso de semillas grandes puede representar una ventaja en suelos no salinos.

Palabras Clave: Maíz, salinidad, tamaño de semilla.

ABSTRACT

Seed germination and seedling growth were studied from two seed sizes of two corn cultivars evaluated in absorbent paper and watered with three saline solutions created with sodium chloride. A split-split-plot design was used with four replications, main plots were constituted for the osmotic potentials (0, - 0.328 and - 0.547 MPa), sub-plots were the two corn cultivars (Himeca 95 and Pioneer 361) and sub-sub-plots were two seed sizes ($\geq 0.32 - 0.36 \leq g$ y $> 0.36 g$). An analysis of variance and Duncan's multiple range test were carried out. The inference level was 5%. The decreased osmotic potential produced lower seed germination and lesser seedling growth in the two corn cultivars. It was possible to evaluate only for salinity tolerance in germination stage with osmotic potentials of -0.328 and - 0.547 MPa (Pioneer 361 was more tolerant than Himeca 95). Growth was bigger in seedlings from big seed (fresh shoot weight and radicle volume), although this superiority was lost with decreased osmotic potential, suggesting that the use of big seeds can represent an advantage in non saline soils.

Key Words: Corn, salinity tolerance, seed size.

INTRODUCCIÓN



El proceso de acumulación de sales en los suelos con predominio de Ca y Mg se le denomina salinización. Las condiciones necesarias para que tenga lugar la acumulación son el aporte de sales y la imposibilidad de su eliminación. Las sales, tanto las de Ca, Mg, K como las de Na, son de diferente procedencia. En general, pueden ser de origen natural o provenir de contaminaciones antrópicas. El uso indiscriminado de grandes cantidades de fertilizantes químicos y la sobre-explotación de los acuíferos han ocasionado un drástico aumento de la salinidad. Actualmente, la tercera parte de las tierras irrigadas en el mundo están afectadas, en mayor o menor medida, por esta condición¹. Esto provoca valores muy altos de la presión osmótica en el agua del suelo, con evidentes repercusiones sobre la vegetación (interfiere en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y otras plantas no cultivadas)².

En Venezuela, el maíz (*Zea mays* L.) se encuentra ampliamente distribuido en toda su geografía, siendo un producto principal en la dieta básica y de consumo masivo. La consideración de que en el proceso de producción de maíz, al igual que en los otros cultivos (sorgo, arroz, etc.), la semilla tiene un efecto fundamental sobre el rendimiento, genera la necesidad de mejorar la calidad de la semilla (mayor germinación y vigor), para garantizar una óptima población de plantas y mayor rendimiento. En consecuencia, es conveniente identificar genotipos de maíz tolerantes y/o resistentes a ambientes adversos, como los suelos salinos (en Venezuela el mayor porcentaje de suelos salinos se ubica en la zona costera de los estados Sucre, Anzoátegui, Carabobo, Falcón y Zulia y en un área importante del estado Lara, especialmente en el valle de Quíbor con climas áridos y semiáridos), dado que la respuesta a estos factores de estrés difiere grandemente entre cultivares. Una técnica sencilla, no costosa, y que no requiere de equipos especializados para identificar a la semilla de buena calidad en diferentes lotes almacenados, y que al mismo tiempo permite estudiar el efecto del estrés por salinidad, podría ser el uso de compuestos o productos comerciales para simular bajo condiciones de laboratorio el estrés salino, como pueden ser: sulfato de sodio y cloruro de sodio³⁻⁶.

Por otro lado, las investigaciones sobre el efecto del estrés por salinidad, en genotipos de garbanzo indican variaciones en la germinación y en el crecimiento de las plántulas dentro de un mismo genotipo atribuidas a la influencia del tamaño de la semilla y en la tolerancia a estas condiciones⁷. Esto sugiere seleccionar un determinado tamaño de semilla con objeto de brindar mayor tolerancia al estrés, ya sea durante la germinación o durante los primeros días de crecimiento de las plántulas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de las soluciones salinas preparadas con cloruro de sodio, sobre la germinación y el crecimiento de plántulas a partir de diferentes tamaños de las semillas de dos cultivares de maíz, empleando papel absorbente como sustrato en condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Semillas del Postgrado en Agricultura Tropical de la Universidad de Oriente, Edo. Monagas, Venezuela.

Cultivares, cribaje de la semilla

Se utilizaron para el experimento semillas certificadas de los cultivares Himeca 95 y Pioneer 361 (humedad promedio de 12%), fueron tratadas con Vitavax 200 F (carboxin 17% + thiram 17%) y posteriormente clasificadas con base en el peso individual, en dos intervalos de peso, en lotes de 300 semillas: $\geq 0.32 - 0.36 \leq g$ y > 0.36 g. Fue necesario eliminar el intervalo de menor peso (semillas < 0.32 g) por no ser factible disponer de más semilla.

Siembra, sustrato, soluciones salinas

Para la siembra se emplearon bandejas de aluminio (48.5 cm de largo, 43.3 cm de ancho y 0.8 cm de alto) desinfectadas con cloro comercial (hipoclorito de sodio al 5.25%) no diluido y enjuagadas con agua. Luego se les cubrió con una capa de dos hojas de papel absorbente, sobre la que se colocaron 25 semillas en hileras conforme a cada tratamiento (repetición, potencial osmótico, cultivar, tamaño de la semilla) y después se cubrieron con dos hojas más del mismo papel. Se realizaron dos riegos diarios humedeciendo el papel de las bandejas con un aspersor manual y con las soluciones que simulaban los potenciales osmóticos de los suelos salinos estudiados en un trabajo previo. Los potenciales osmóticos se prepararon agregando una cantidad en gramos de cloruro de sodio comercial en un litro de agua de acuerdo a la concentración molal requerida para obtener el potencial osmótico deseado (0 g/L, 4.24 g/L y 7.06 g/L, para $\psi_{os} 1 = 0$ MPa (Testigo); $\psi_{os} 2 = -0.328$ MPa, y $\psi_{os} 3 = -0.547$ MPa, respectivamente) según la ecuación de J. H. van't Hoff⁸: $\psi_{os} = -C i R T$, donde: ψ_{os} = potencial osmótico; C = concentración de la solución, expresada como molalidad (moles de soluto por Kg de H₂O); i = constante que indica la ionización del soluto, para el NaCl i = 1.8; R = constante de los gases (0.0831 Kg · bar mol⁻¹ · K⁻¹), y T = temperatura absoluta (K), en este caso K = 303.

Diseño experimental, variables medidas, análisis estadístico

Se utilizó un diseño estadístico de parcelas divididas con 4 repeticiones, donde la parcela principal la conformaron los potenciales osmóticos (0 MPa (Testigo), - 3.28 MPa y - 5.47 MPa), las subparcelas, los dos cultivares de maíz (Himeca 95 y Pioneer 361) y las sub-subparcelas los dos tamaños de las semillas ($\geq 0.32 - 0.36 \leq g$, > 0.36 g).

El comportamiento de los cultivares de maíz ante los diferentes tratamientos se evaluó a través de los siguientes parámetros de germinación y crecimiento, a los 12 días después de la siembra (dds):

- a) Germinación: porcentaje de germinación (%),
- b) Crecimiento: altura de la plántula (cm): en función de la hoja de mayor longitud (desde el suelo hasta el ápice de la hoja extendida),
- c) Longitud radicular (cm): a partir de la raíz de mayor longitud (desde el cuello del vástago hasta el meristema apical de la misma),
- d) Volumen radicular (ml): estimado mediante el desplazamiento de agua producto de la inmersión de la raíz,
- e) Pesos frescos del vástago y radícula (g),
- f) Pesos secos del vástago y la radícula (g): secados en estufa a 70 °C por 72 h,
- g) Relación altura de la plántula/longitud radicular, y
- h) Relación peso seco del vástago/peso seco radicular.

Los resultados de los parámetros evaluados se analizaron mediante el análisis de varianza convencional. Los datos del porcentaje de germinación fueron transformados mediante la fórmula $\sqrt{(x+3/8)/(n+3/4)}$, y en los casos en que fue necesario transformar los datos de los caracteres de crecimiento se utilizó la fórmula $\sqrt{(x+0.5)}$. Las diferencias entre los promedios se determinaron por medio de la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan al 5% de probabilidad.

RESULTADOS

Porcentaje de germinación

El análisis de varianza para el porcentaje de germinación a los 12 dds (datos no mostrados) señala efecto significativo para los efectos simples de potencial osmótico y cultivar de maíz y para la interacción potencial osmótico por cultivar. Esta interacción (Tabla I) muestra que el Himeca 95 presentó una mayor germinación en el potencial osmótico de referencia, seguido por los otros dos potenciales, los cuales fueron estadísticamente similares. Mientras que el cultivar Pioneer 361 no presentó diferencias significativas entre los potenciales con los que se trabajó.

Los cultivares Himeca 95 y Pioneer 361 se comportaron estadísticamente igual en cuanto al porcentaje de germinación a los 12 dds a nivel del potencial osmótico usado para el testigo.

Potencial osmótico (Mpa)	Porcentaje de germinación †			
	Cultivares de maíz			
	Himeca 95		Pioneer 361	
0	76.50	Aa	82.00	Aa
-0.328	56.00	Bb	72.00	Aa
-0.547	48.00	Bb	76.00	Aa

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan (p ≤ 0.05). Letras mayúsculas para las comparaciones verticales. Letras minúsculas para las comparaciones horizontales. Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

Tabla I. Promedios para los porcentajes de germinación.

En los otros dos potenciales, el cultivar Pioneer mostró los más altos porcentajes de germinación. El cultivar Pioneer 361 a diferencia del Himeca 95 no mostró diferencias en el porcentaje de germinación en los diferentes potenciales osmóticos preparados con las soluciones salinas, presentando en todos, a excepción del testigo, mayor germinación que el Himeca 95. Esto señala una mayor tolerancia del cultivar Pioneer 361 a las condiciones salinas.

Caracteres de crecimiento

Altura de la plántula (cm)

El análisis de varianza para la altura de la plántula a los 12 dds (datos no mostrados) denota diferencias significativas para las fuentes de variación potencial osmótica y cultivar de maíz y para la interacción cultivar de maíz por tamaño de la semilla. La prueba de separación de promedios para el factor Potencial osmótico (Tabla II) indica que la mayor altura correspondió a las plántulas crecidas bajo el potencial osmótico testigo, seguida por la altura alcanzada en el $\psi_{os} = -0.328$ MPa, estadísticamente inferior al testigo, pero superior a la altura en el $\psi_{os} = -0.547$ MPa. La interacción Cultivar por Tamaño (Tabla III) señala que la mayor altura para las plántulas provenientes de las semillas $\geq 0.32 - 0.36 \leq g$ la presentó el cultivar Pioneer 361, mientras que para las semillas de mayor tamaño (> 0.36 g) no se apreciaron diferencias estadísticas significativas entre los cultivares. Las plántulas de mayor altura del cultivar Himeca 95 fueron aquéllas desarrolladas a partir de las semillas más grandes (> 0.36 g), en

Potencial osmótico (Mpa)	AP (cm) †	LR (cm) †	RPSV/PSR †
0	26.75 A	19.41 A	0.33 A
-0.328	17.12 B	12.44 B	0.21 B
-0.547	8.03 C	5.87 C	0.10 C

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan (p ≤ 0.05). Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes dentro de una misma columna.

Tabla II. Promedios para altura de las plántulas (AP) (cm), longitud de las radículas (LR) (cm) y relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula (RPSV/PSR).

Cultivares de maíz	Altura de plántulas (cm) †			
	Tamaño de la semilla de maíz			
	$\geq 0.32 - 0.36 \leq$		> 0.36	
Pioneer 361	18.47	Aa	18.11	Aa
Himeca 95	15.41	Bb	17.21	Aa

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan (p ≤ 0.05). Letras mayúsculas para las comparaciones verticales. Letras minúsculas para las comparaciones horizontales. Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

Tabla III. Promedios para las alturas de las plántulas (cm).

tanto que para el cultivar Pioneer 361 no existieron diferencias significativas entre los dos tamaños de semilla.

Longitud de la radícula (cm)

El análisis de varianza para la longitud de la radícula a los 12 dds (datos no mostrados) muestra diferencias significativas para el efecto individual del potencial osmótico. La prueba de medias (Tabla II) muestra que la longitud de la radícula presentó tendencia a disminuir con la disminución del potencial osmótico.

Volumen de la radícula (ml)

El análisis de varianza para el volumen de la radícula a los 12 dds (datos no mostrados) señala efecto significativo para los resultados del potencial osmótico y tamaño de la semilla y para la interacción del potencial osmótico por tamaño de la semilla. Esta interacción (Tabla IV) muestra que el volumen radicular de las plántulas originadas de semillas de tamaño $\geq 0.32-0.36 \leq$ no presentó diferencias significativas en ninguno de los potenciales osmóticos estudiados, mientras que el volumen radicular de las plántulas de las semillas > 0.36 g fue mayor en el testigo y en el $\psi_{os} = -0.328$ MPa, estadísticamente iguales entre sí y superiores al $\psi_{os} = -0.547$ MPa. En el potencial osmótico de referencia el mayor volumen radicular lo presentaron las plántulas provenientes de semillas más grandes, igual ocurrió en el $\psi_{os} = -0.328$ MPa, en tanto que en el $\psi_{os} = -0.547$ MPa no existieron diferencias significativas entre los volúmenes radiculares.

Peso fresco del vástago (g)

El análisis de varianza para el peso fresco del vástago a los 12 dds (datos no mostrados) denota diferencias significativas para los efectos simples del potencial osmótico y el tamaño de la semilla y para la interacción del potencial osmótico por tamaño de la semilla. Las pruebas de separación de promedios para la interacción (Tabla IV) señalan que el peso fresco del vástago en las plántulas crecidas de semillas de tamaño $\geq 0.32-0.36 \leq$ fue mayor en el potencial osmótico usado como testigo, estadísticamente superior a los pesos frescos de los vástagos de las plántulas provenientes de los potenciales osmóticos de -0.328 y -0.547 MPa, similares entre sí, pero inferiores respecto

al testigo. Mientras que en las plántulas formadas a partir de las semillas > 0.36 g, existió una tendencia progresiva a disminuir con el decremento en el potencial osmótico.

En el potencial osmótico testigo no se presentaron diferencias entre los pesos frescos del vástago provenientes de las semillas de distinto tamaño, sin embargo en el $\psi_{os} = -0.328$ MPa el mayor peso fresco fue de los vástagos originados de las semillas más grandes. Finalmente en el $\psi_{os} = -0.328$ MPa no existió efecto del tamaño de la semilla sobre el peso fresco.

Peso fresco de la radícula (g)

El análisis de varianza para el peso fresco de la radícula a los 12 dds (datos no mostrados) muestra diferencias significativas para los efectos simples del potencial osmótico y el tamaño de la semilla y para la interacción potencial osmótico por tamaño de la semilla. Las pruebas de separación de promedios para la interacción (Tabla V) señalan que no existen diferencias significativas en el peso fresco de la radícula de las plántulas de semillas de tamaño $\geq 0.32-0.36 \leq$ en ninguno de los potenciales osmóticos. En las plántulas provenientes de las semillas > 0.36 g, el mayor peso fresco correspondió a las plántulas crecidas en el testigo y en el $\psi_{os} = -0.328$ MPa, iguales entre sí y superiores a las del $\psi_{os} = -0.547$ MPa. En el potencial osmótico de la solución testigo no hubo diferencias significativas entre los tamaños de la semilla para este parámetro, mientras que en el $\psi_{os} = -0.328$ MPa, el mayor peso fresco fue para las plántulas de las semillas más grandes y en el $\psi_{os} = -0.547$ MPa, la situación se invirtió, el mayor peso fresco fue para las plántulas provenientes de las semillas más pequeñas.

Peso seco del vástago (g)

El análisis de varianza para el peso seco del vástago a los 12 dds (datos no mostrados) señala un efecto significativo para los factores simples del potencial osmótico y cultivar de maíz y para la interacción potencial osmótico por tamaño de la semilla. La prueba de separación de medias para el efecto individual del cultivar (Tabla VI) señala al cultivar Pioneer 361 como el de mayor peso seco del vástago. El análisis de la interacción del potencial osmótico por tamaño de la semilla (Tabla V) muestra

Potencial osmótico (Mpa)	Tamaño de la semilla de maíz							
	$\geq 0.32-0.36 \leq$				> 0.36			
	Volumen de la radícula (ml) †				Peso fresco del vástago (g) †			
0	0.83	Ab	1.07	Aa	0.737	Ab	0.902	Aa
-0.328	0.57	Ab	0.81	Aa	0.320	Bb	0.470	Ba
-0.547	0.62	Aa	0.46	Ba	0.227	Ba	0.136	Ca

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0.05$).
 Letras mayúsculas para las comparaciones verticales dentro de cada columna.
 Letras minúsculas para las comparaciones horizontales dentro de cada fila y carácter.
 Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

Tabla IV. Promedios para el volumen de la radícula (ml) y peso fresco del vástago (g).

Potencial osmótico (Mpa)	Tamaño de la semilla de maíz															
	$\geq 0.32 - 0.36 \leq$				> 0.36				$\geq 0.32 - 0.36 \leq$				> 0.36			
	Peso fresco de la radícula (g) †				Peso seco del vástago (g) †				Peso seco de la radícula (g) †							
0	0.756	Aa	0.940	Aa	0.053	Aa	0.061	Aa	0.232	Aa	0.191	Ab				
-0.328	0.556	Ab	0.784	Aa	0.031	Bb	0.042	Ba	0.155	Bb	0.195	Aa				
-0.547	0.636	Aa	0.470	Bb	0.025	Ba	0.016	Ca	0.154	Bb	0.200	Aa				

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0.05$).
 Letras mayúsculas para las comparaciones verticales dentro de cada columna.
 Letras minúsculas para las comparaciones horizontales dentro de cada fila y carácter.
 Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

Tabla V. Promedios para el peso fresco de la radícula (g) y peso seco del vástago (g).

Cultivares de maíz	PSV (g)	PSR (g)
Pioneer 361	0.043 A	0.215 A
Himeca95	0.033 B	0.160 B

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0.05$). Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes dentro de una misma columna.

Tabla VI. Promedios para el peso seco del vástago (PSV) (g) y el peso seco de la radícula (PSR) (g).

que en las plántulas provenientes de las semillas de menor tamaño, el mayor peso seco del vástago correspondió a las que crecieron en la solución testigo, mientras que las otras dos soluciones fueron inferiores al testigo y estadísticamente iguales entre sí. En las plántulas originadas a partir de las semillas de mayor tamaño se observa una reducción en el peso con la disminución del potencial osmótico.

Peso seco de la radícula (g)

El análisis de varianza para el peso seco de la radícula a los 12 dds (datos no mostrados) señala diferencias significativas para el factor cultivar de maíz y para la interacción potencial osmótico por tamaño de la semilla. Las pruebas de separación de promedios para el efecto del cultivar (Tabla VI) indican que el mayor peso seco de la radícula lo presentó Pioneer 361. Las pruebas de separación de promedios para la interacción (Tabla V) señalan que en las plántulas provenientes de las semillas de tamaño $\geq 0.32 - 0.36 \leq$ g, el mayor peso seco correspondió a las que crecieron en el $\psi_{os} = -0.547$, resultando aquéllas desarrolladas en el potencial testigo y en el $\psi_{os} = -0.328$ MPa, inferiores a éste e iguales entre sí. En las plántulas originadas a partir de semilla de tamaño > 0.36 g, no existieron diferencias significativas para este parámetro en ninguno de los potenciales osmóticos probados. Tanto en el potencial osmótico testigo como en el $\psi_{os} = -0.328$ MPa, el mayor peso seco de la radícula fue para las plántulas originadas de las semillas más grandes y en el $\psi_{os} = -0.547$ MPa, la situación se invirtió, el mayor peso seco fue para las plántulas provenientes de las semillas más pequeñas.

Relación altura de la plántula/longitud de la radícula

El análisis de varianza para la relación de la altura de la plántula/longitud de la radícula a los 12 dds (datos no mostrados), muestra diferencias significativas para el factor individual cultivar de maíz y para la interacción cultivar de maíz por tamaño de la semilla. Las pruebas de separación de medias para la interacción (Tabla VII) señalan que en las plántulas provenientes de las semillas de menor tamaño, la relación altura de la plántula/longitud de la radícula fue superior para el cultivar Pioneer 361, coincidiendo con los resultados para la plántulas de semillas de mayor tamaño. No existieron diferencias en la relación altura de la plántula/longitud de la radícula dentro de cada cultivar por efecto del tamaño de la semilla.

Relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula

El análisis de varianza para la relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula a los 12 dds (datos no mostrados), muestra diferencias significativas para el efecto individual del potencial osmótico y para la interacción del cultivar de maíz por tamaño de la semilla. La prueba de separación de promedios para el factor potencial osmótico (Tabla II), muestra que el mayor valor en esta relación se alcanzó en el potencial osmótico testigo, seguido por el $\psi_{os} = -0.328$ MPa, estadísticamente inferior al testigo, pero superior al $\psi_{os} = -0.547$ MPa. Se observa que la relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula decrece al disminuir el potencial osmótico, lo cual obedece a la reducción de la altura de la plántula por efecto de éste.

La interacción cultivar por tamaño (Tabla VII) indica que la relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula fue mayor en las plántulas provenientes de las semillas de tamaño $\geq 0.32 - 0.36 \leq$ en el cultivar Pioneer 361, mientras que en las plántulas de las semillas > 0.36 g no existió diferencia para esta relación entre los cultivares. El cultivar Himeca 95 no mostró diferencias en esta relación por efecto del tamaño de la semilla, en tanto que Pioneer 361 presentó los mayores valores en semillas de menor tamaño.

Cultivares de maíz	Tamaño de la semilla de maíz							
	$\geq 0.32 - 0.36 \leq$				> 0.36			
	Relación altura de la plántula Longitud de la radícula †				Relación peso seco del vástago Peso seco de la radícula †			
Pioneer 361	1.587	Aa	1.506	Aa	0.246	Aa	0.195	Aa
Himeca 95	1.203	Ba	1.278	Ba	0.190	Ba	0.222	Ba

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0.05$).
 Letras mayúsculas para las comparaciones verticales dentro de cada columna.
 Letras minúsculas para las comparaciones horizontales dentro de cada fila y carácter.
 Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

Tabla VII. Promedios para la relación altura de la plántula/longitud de la radícula.

DISCUSIÓN

Sólo se presentó una interacción del potencial osmótico por cultivar en el porcentaje de germinación a los 12 dds, lo que permite discriminar entre cultivares en cuanto a germinación con el empleo de soluciones de cloruro de sodio con potenciales osmóticos de -0.328 y -0.547 MPa. En tanto que en los caracteres de crecimiento predominaron las interacciones del potencial osmótico por tamaño de la semilla y cultivar por tamaño de la semilla, indicando que el cultivar sólo presentó importancia para efectos del tamaño de la semilla, por lo que no es posible diferenciar para la tolerancia a la salinidad entre los cultivares a nivel de crecimiento de las plántulas pero sí a nivel de la germinación. Esto indica que no necesariamente aquellos cultivares que presenten el mayor porcentaje de germinación bajo condiciones de salinidad tendrán mayor tolerancia a la misma en etapas posteriores de crecimiento. Al respecto, no hay claras evidencias de que la tolerancia durante la germinación implique que plantas con mayor desarrollo puedan mostrar una tolerancia similar, y que diversos estudios prueban de hecho, que la evolución de la tolerancia a la salinidad en varios estados de desarrollo no es la misma para todos los cultivares de una especie⁹.

La determinación de la germinación del potencial de semillas dentro de un mismo cultivar en condiciones salinas puede mostrarse como un simple y conveniente parámetro por varias razones. Primero, la tolerancia a la salinidad en este estado ha demostrado ser una característica heredable que puede usarse como un eficaz criterio para la selección de poblaciones tolerantes a la salinidad, a pesar de que es un carácter poligénico ligado a complejas bases genéticas. Segundo, las semillas y plántulas jóvenes están frecuentemente enfrentadas a las más altas salinidades que aquellas plantas creciendo vigorosamente, debido a que la germinación usualmente ocurre en la superficie del suelo donde se acumulan sales solubles como resultado de la evaporación y elevación capilar del agua⁹. Uno de los métodos más extendidos a nivel mundial para la determinación de la tolerancia de las plantas a las sales es el porcentaje de germinación en soluciones salinas y la evaluación de la germinación de semillas tratadas con sal y

controles, que está siendo usada como un indicador de la tolerancia de algunas especies y cultivares a la salinidad, así como, la prueba de germinación, las pruebas de vigor son útiles para evaluar la calidad fisiológica de las semillas durante el estrés salino, estas evaluaciones son importantes para estimar el comportamiento potencial de las semillas en el campo en ambientes estresantes salinos¹⁰.

En esta investigación se apreció una disminución en la germinación por efecto de la disminución del potencial osmótico. Estos resultados coinciden con los reportados por diversos autores en maíz y otros cultivos. En un experimento bajo condiciones de laboratorio con semillas de los cultivares Cargill 717 y Cargill 633, con un 12% de humedad, se observó que potenciales de agua de -0.5 y -0.1 MPa preparados con cloruro de sodio disminuyeron la germinación en el cultivar Cargill 717 en un 15.9 y 28.0%, respectivamente, y en Cargill 633 en un 16 y 23.8%³. En otro ensayo se observaron reducciones en el porcentaje de germinación en las tres especies investigadas al incrementar la presión osmótica, un 50% de reducción en la germinación promedio para todos los tratamientos salinos se presentó con valores osmóticos de -0.86 MPa en *Hordeum vulgare* L., -0.44 MPa para *Trifolium fragiferum* L. y -0.33 MPa para *Trifolium repens* L.¹¹. Diferencias en la germinación entre cultivares de maíz por efecto de soluciones salinas han sido señaladas por otros investigadores. Al comparar el porcentaje de germinación entre los cultivares de maíz Cargill 717 y Cargill 633 se obtuvo un mayor porcentaje de germinación con Cargill 717 y un potencial de agua de -0.03 MPa³. Al evaluar soluciones de cloruro de sodio y su efecto en los cultivares de maíz Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031, se encontró que para el porcentaje de germinación, se observó que Cargill 633 e Himeca 2003 presentaron porcentajes similares entre sí, pero superiores a aquéllos de Pioneer 3031⁴. Similares observaciones se han realizado en otros cultivos. Al evaluar la germinación y emergencia de varias variedades de cebada en cultivos de suelo salinizado, se observó en 30 variedades, a nivel mundial, que los límites de tolerancia para un 50% de reducción en la germinación oscilan entre -1.22 MPa para Arivat y 20% para California Mariout¹¹.

La presencia de sales en el suelo provoca un retraso en la germinación, que con salinidades elevadas puede no tener lugar². En condiciones salinas en la mayoría de las halófitas y las glicófitas la germinación es muy lenta y la supervivencia de las plántulas es muy difícil. En relación a la supervivencia de las plántulas a que hace mención Porta², durante la realización del presente trabajo no hubo muertes de plántulas de maíz después de germinar. Sin embargo, pudiera ser un factor de importancia para considerarlo en ensayos con otras concentraciones salinas y/o con periodos de duración más largos¹².

La inhibición inducida por la sal en la germinación de semillas puede ser atribuida al estrés osmótico o a la toxicidad específica del ión. Al estudiar el efecto del potencial osmótico sobre la absorción de agua y germinación de semillas de alfalfa se encontró que las semillas tienden a absorber agua más lentamente y a acumular cloruro a partir de una solución de cloruro de sodio en la medida en que el potencial osmótico de la solución disminuye, demostrando en condiciones de invernadero, que el resultado del efecto físico-químico de la sal fue una tasa reducida de emergencia, dependiente de la concentración¹³. Sin embargo, no está claro si estos dos componentes del estrés salino tienen similares efectos sobre las propiedades fisiológicas asociadas con la germinación y si su relativa importancia es la misma en todos los genotipos⁹. La salinidad reduce el número total de semillas germinadas y pospone la iniciación de los procesos de germinación¹⁴. La salinidad influye de manera deletérea en la germinación de las semillas principalmente disminuyendo lo suficiente el potencial osmótico de la solución del suelo para retardar la absorción de agua por las semillas¹⁵ y también por la toxicidad al embrión¹⁶.

El crecimiento de las plántulas de maíz también se vio afectado por las condiciones salinas evaluadas. La salinidad del suelo provoca una sintomatología relacionada con una inhibición irreversible del crecimiento: menor área foliar y talla de la planta (el crecimiento es lento y no llega a ser completo), menor producción de materia seca, quemaduras en los bordes de las hojas, entre otros factores². Se han observado reducciones en el crecimiento del maíz producto de condiciones salinas al evaluar el efecto de soluciones de sulfato de sodio en tres cultivares de maíz (Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031), la mayor reducción de la altura de la plántula ocurrió a -0.6 y -0.9 MPa con 97.54 y 98.18%, respectivamente. Las mayores reducciones del peso seco del vástago y de la radícula ocurrieron a -0.9 y -1.2 MPa con 92.39 y 83.59% respectivamente para el peso seco del vástago y 86.33 y 80.90% respectivamente para el peso seco de la radícula⁴. En este experimento, la altura de la planta fue menor con disminuciones del potencial osmótico, similar tendencia ocurrió para la longitud de la radículas y de manera general tanto los pesos frescos y secos del vástago y de las radículas también disminuyeron. Al estudiar la respuesta de la germinación y crecimiento de *Prosopis strombulifera* a soluciones monosalinas isoosmóticas de KCl, NaCl, Na₂SO₄,

K₂SO₄ se encontró que en todos los tratamientos salinos el crecimiento de los hipocotilos siguieron un patrón de inhibición del crecimiento similar al de las radículas¹⁷.

En general, el incremento de los niveles de salinidad (disminución del potencial osmótico) causó una disminución de la germinación y de los caracteres de crecimiento. Las sales afectan las funciones de la membrana y las paredes celulares¹⁸. El NaCl afecta la permeabilidad de las membranas plasmáticas e incrementa el influjo de iones externos y el eflujo de solutos citólicos¹⁹ en las células de las plantas. El NaCl también causa endurecimiento de la pared celular y un aumento en la conductividad hídrica de la membrana plasmática. Estos efectos sobre las funciones de las membranas y paredes celulares pueden afectar el potencial del citosol y la extensibilidad celular y así, puede también afectar la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas. La reducción de la germinación bajo condición salina puede deberse al hecho de que la latencia se incrementa en las semillas de los cultivos bajo estrés salino¹⁸.

Se observó un menor crecimiento de la altura de la plántula y la longitud de la radícula con aumentos de la salinidad (disminuciones del potencial osmótico). La longitud de la raíz y del vástago son los caracteres más importantes para el estrés salino porque las raíces están en contacto directo con el suelo y absorben el agua del suelo y el vástago la conduce al resto de la planta. Por esta razón, la longitud de la raíz y del vástago son una clave importante para la respuesta de las plantas al estrés salino^{20,21}. La inhibición del crecimiento de la planta por la salinidad puede deberse al efecto inhibitorio de los iones y también a la absorción más lenta del agua por las semillas²⁰.

El tamaño de la semilla no parece ser un factor de importancia ligado al proceso de germinación bajo los potenciales osmóticos salinos con los que se trabajó en esta investigación, pero sí al del crecimiento de las plántulas, lo cual se desprende del hecho de que no se presentó en ninguno de los parámetros estudiados influencia del tamaño de la semilla en la germinación por efecto del potencial osmótico, pero sí sobre los caracteres de crecimiento. Resultados parecidos fueron encontrados al estudiar el efecto del tamaño de la semilla (grande, mediana y pequeña) y la salinidad (potencial osmótico de 0; -0.3; -0.6 y -0.9 MPa) sobre la germinación, la utilización de reservas de la semilla y el crecimiento de plántulas de dos genotipos de garbanzo (*Cicer arietinum* L.), Jam y Kaka, donde se encontró que no existió efecto del tamaño de la semilla sobre la germinación máxima total (Gmx), el tiempo requerido para alcanzar la mitad de la tasa de germinación (R₅₀) y la uniformidad (UG) de la germinación, pero que todos los tratamientos fueron afectados por la salinidad, las plántulas provenientes de las semillas grandes tuvieron mayores tasas de crecimiento y longitudes de raíces y brotes, que las originadas de semillas pequeñas. Estas plántulas utilizaron las reservas de la semilla a una tasa muy rápida; sin embargo, la eficiencia de conversión de las reservas

dentro del tejido de las plantas fue la misma independientemente del tamaño de la semilla. La ventaja de las semillas grandes fue su capacidad de proveer energía más rápidamente para el crecimiento de las plántulas. La disminución del potencial osmótico redujo progresivamente la tasa de crecimiento y la longitud de las raíces y brotes. La reducción en la tasa de crecimiento fue el resultado de una disminución progresiva en la tasa de utilización de las reservas de la semilla afectada por el potencial osmótico, pero la eficiencia en la conversión de reservas en el tejido de la planta disminuyó solamente a -0.9 MPa al 21%. Bajo condiciones no salinas las semillas de mayor tamaño fueron superiores, pero disminuciones en el potencial osmótico acabaron con esta ventaja, de modo que no existieron diferencias significativas entre el tamaño de la semilla grande, mediano y pequeño frente a potenciales osmóticos de -0.6 y -0.9 MPa¹¹. Iguales resultados se obtuvieron en el presente trabajo donde la interacción del potencial osmótico por tamaño de la semilla mostró que las plántulas provenientes de las semillas de mayor tamaño presentaron mayores volúmenes de la radícula y pesos frescos de los vástagos en el testigo ($\psi_{os} = 0$ MPa) y en el potencial osmótico de -0.328 MPa, sin embargo, esta ventaja se perdió en el potencial osmótico de -0.547 MPa (potencial muy cercano al que se observó en el garbanzo). El uso de semillas grandes de maíz pudiera ser una ventaja en la producción de plántulas más vigorosas en condiciones no salinas, sin embargo, bajo condiciones salinas, la clasificación de las semillas en base al peso no da como resultado plántulas más vigorosas.

La respuesta de un cultivar en condiciones salinas estresantes va a depender de la etapa del ciclo biológico de éste; cultivares tolerantes a la salinidad durante el proceso de germinación pueden dejar de serlo durante el crecimiento. Por otra parte, la problemática derivada de la salinidad es equivalente a la sequía, debido a que las sales retienen agua y no la dejan disponible para la semilla o la plántula.

La salinidad puede inhibir el crecimiento de las plántulas debido a varios factores, incluyendo la toxicidad iónica, deficiencia en la nutrición mineral y cambios en las relaciones hídricas, siendo esto último un efecto similar al producido por la sequía. El grado en el que cada uno de estos factores puede afectar el crecimiento depende del genotipo de la planta y de las condiciones ambientales. Los principales iones salinos, Na⁺ y Cl⁻, pueden suprimir la absorción neta de nutrientes debido a las interacciones competitivas iónicas o afectar la integridad de la membrana, altos niveles de Na⁺ a menudo indican deficiencias de K⁺. La salinidad puede causar dos clases de estrés en los tejidos de las plantas: osmótico e iónico, siendo el primero similar al causado por la sequía, mientras que el último es a menudo asociado con altas relaciones Na⁺/K⁺ y Na⁺/Ca⁺² y la acumulación de Na⁺ y Cl⁻ en los tejidos, lo cual es dañino para el metabolismo general de las células. Bajo estrés salino, el mantenimiento de K⁺ citosólico y la homeostasis de la concentración intracelular de iones es aún más crucial²².

CONCLUSIONES

La evaluación para la tolerancia al estrés salino únicamente puede ser hecha en la etapa de germinación con potenciales osmóticos preparados con cloruro de sodio de -0.328 y de -0.547 MPa, señalando que Pioneer 361 fue más tolerante que Himeca 95 en condiciones de estudio.

Existió mayor crecimiento de plántulas a partir de semillas grandes (volumen de la radícula y peso fresco del vástago), aunque éste se perdió al disminuir el potencial osmótico, por lo que el uso de semillas grandes representa una ventaja en suelos no salinos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente.

REFERENCIAS

1. Azcón-Bieto, J. & Talón, M. Fisiología y Bioquímica Vegetal (Interamericana McGraw-Hill, Madrid, España, 1993).
2. Porta, C.J., López-Acevedo, R.M. & Roquero De, L.C. Edafología (Editorial Mundi-Prensa, España, 1999).
3. Martínez A., L.E. Efecto de la temperatura y del contenido de agua del suelo en la germinación y crecimiento inicial en dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) con diferentes contenidos de humedad inicial en las semillas (Trabajo de grado presentado para obtener el Título de M. Sc. en Agricultura Tropical Mención Producción Vegetal, Postgrado en Agricultura Tropical) (Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Venezuela, 1999).
4. Méndez N., J.R, Ibarra P., F.T. & Merazo P., J.F. Germinación de semillas y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.) bajo soluciones osmóticas I. Cloruro de sodio. VI Festival del Maíz. VI Jornada Científica Nacional del Maíz. Del 20 al 23 de noviembre del 2002. Maracay, Estado Aragua. Online: www.Trabajos\carteles\tecnosemilla\jmendezsodio.htm. (20 de febrero 2006) (2002).
5. Méndez N., J.R, Ibarra P., F.T. & Merazo P., J.F. Germinación de semillas y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.) bajo soluciones osmóticas II. Sulfato de sodio. VI Festival del maíz. VI Jornada científica nacional del maíz. Del 20 al 23 de noviembre del 2002. Maracay, Estado Aragua. Online: www.Trabajos\carteles\tecnosemilla\jmendezsulfato.htm. (20 de febrero 2006) (2002).
6. Wong R., L.A. Efecto de cinco potenciales osmóticos creados con NaCl y sacarosa comercial sobre la germinación de las semillas y desarrollo inicial de las plántulas de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.). Trabajo de Grado para Ingeniero Agrónomo (Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Venezuela, 2002).
7. Galeshi, S., Soltani, A. & Zeinali, E. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Symposium (26th Congress of the International Seed Testing Association (ISTA). Anger, France. pp. 12. 2001)
8. Salisbury, F. & Ross, C. Fisiología de las Plantas (Thompson Learning, España, 1992).
9. Almansouri, M., Kinet, J. & Lutts, S. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum*

- Desf.). *Plant and Soil* **231**, 243-254 (2001).
10. Dantas, B.F., De Sá Ribeiro, L. & Aragão, C.A. Physiological response of cowpea seeds to salinity stress. *Revista Brasileira de Sementes* **27(1)**, 144-148 (2005).
 11. George, L. & Williams, W. Germination and respiration of barley, strawberry, clover and ladino clover seeds in salt solutions. *Crop Sci.* **4(5)**, 450-452 (1964).
 12. Daubenmire, R.F. *Ecología Vegetal* (Editorial Limusa, México, 1990).
 13. Uhvits, R. Effect of osmotic pressure on water absorption and germination of alfalfa seeds. *Am. J. Bot.* **3**, 278-285 (1946).
 14. Ungar, I.A. *Ecophysiology of vascular halophytes* (CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 1991).
 15. Khan, M.A. & Ungar, I.A. Seed polymorphism and germination responses to salinity stress in *Atriplex triangularis* Willd. *Bot. Gaz.* **145**, 487-494 (1984).
 16. Zekri, M. Salinity and calcium effects on emergence, growth and mineral composition of seedlings of eight citrus rootstocks. *J. Hortic. Sci.* **68**, 53-62 (1993).
 17. Llanes, A, Reinoso, H. & Luna, V. Germination and early growth of *Prosopis strombulifera* seedlings in different saline solutions. *World Journal of Agricultural Sciences* **1(2)**, 120-128 (2005).
 18. Mahdavi, B. & Modarres Sanavy, S.A.M. Germination and seedling growth in grasspea (*Lathyrus sativus*) cultivars under salinity conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences* **10(2)**, 273-279 (2007).
 19. Allen, G.J, Wyn Jones, R.G. & Leigh, R.A. Sodium transport measured in plasma membrane vesicles isolated from wheat genotypes with different K⁺/Na⁺ discrimination traits. *Plant Cell Environ.* **18**, 105-115 (1995).
 20. Jamil, M., et al. Salt stress inhibits germination and early seedling growth in cabbage (*Brassica oleracea capitata* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences* **10(6)**, 910-914 (2007).
 21. Jamil, M. & Rha, E.S. The effect of salinity (NaCl) on the germination and seedling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* L.) *Korean J. Plant Res.* **7**, 226-232 (2004).
 22. de Araujo, S.A.M., et al. Salinity tolerance of halophyte *Atriplex nummularia* L. grown under increasing NaCl levels. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* **10(4)**, 848-854 (2006).