

CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS A PARTIR DE TRES TAMAÑOS DE SEMILLA DE DOS CULTIVARES DE MAÍZ (*ZEA MAYS L.*), SEMBRADOS EN ARENA Y REGADOS CON TRES SOLUCIONES OSMÓTICAS DE SACAROSA

*SEEDLING GROWTH FROM THREE SEED SIZES OF TWO CORN (*ZEA MAYS L.*) CULTIVARS SOWED IN SAND AND WATERED WITH THREE OSMOTICANT SOLUTIONS OF SUCROSE*

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

RESUMEN

Se evaluó el crecimiento de plántulas a partir de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz, bajo tres condiciones de sequía, en las que se simuló en arena mediante tres soluciones osmóticas creadas con sacarosa, las tensiones a las que el agua fue retenida en el suelo como consecuencia de tres frecuencias de riego, anteriormente estudiadas. La siembra se efectuó en bandejas de aluminio, empleando 10 kg arena/bandeja y 50 semillas. El diseño estadístico fue parcelas divididas con 4 repeticiones, Parcela principal: los potenciales osmóticos (0, -0,6 y -1,2 MPa), Subparcelas: dos cultivares de maíz (Himeca 95 y Pioneer 3031), y Subsubparcelas: tres tamaños de semillas (< 0,32 g; ≥ 0,32 - 0,36 ≤ g, y > 0,36 g). Se evaluó: Altura de la plántula, Longitud y Volumen radicular, Peso fresco y seco del vástago y la radícula, Relación altura de la plántula/longitud radicular, Relación peso seco del vástago/peso seco radicular. Los resultados se analizaron por varianza convencional y sólo la altura de la plántula a los 4 días después de la siembra se transformó a través de $\sqrt{(X + 0,5)}$. Las medias se separaron mediante la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan al 5% de probabilidad. Fue posible diferenciar entre cultivares para esta condición de estrés con el uso de potenciales osmóticos de -1,2 MPa creados con sacarosa (Himeca 95 superó a Pioneer 3031). El tamaño de la semilla no influyó el crecimiento en ninguna de las condiciones de estrés en estudio, sin embargo, existió superioridad en el crecimiento de plántulas originadas de semillas medianas y grandes en el testigo (0 MPa).

Palabras clave: Maíz, tamaño de semilla, crecimiento, sequía en arena.

ABSTRACT

Seedling growth was determined from three seed sizes of two corn cultivars evaluated under three drought conditions, in which water tensions were simulated in sand using three osmoticant solutions created with sucrose, these tensions represented the water retention in the soil (0.0, -0.6 and -1.2 MPa) as a consequence of three irrigation frequencies (24, 48 y 72 h) previously studied. Sowing was carried out in aluminum trays using 10 kg of soil/tray and 50 seeds. A split-split-plot design was used with four replications, main plots were constituted for the osmotic potentials (0.0, -0.6 and -1.2 MPa), sub-plots were the two corn cultivars (Himeca 95 and Pioneer 3031) and sub-sub-plots were three seed sizes (< 0.32 g; ≥ 0.32 - 0.36 g ≤ and > 0.36 g). The following evaluations were recorded: seedling height, radicle length, radicle volume, dry and fresh weight of shoot and radicle, seedling height:radicle length ratio and dry shoot weight:dry radicle weight ratio. An analysis of variance and Duncan's multiple range test were carried out. The inference level was 5%. It was possible to discriminate for drought tolerance in seedling stage among cultivars with osmotic potentials of -1.2 MPa created with sucrose (cultivar Himeca 95 was more tolerant than Pioneer 3031). Seed size did not affect the seedling growth under stress conditions, however, seedlings from intermediate and larger seeds were more vigorous than from smaller ones at 0 MPa.

Key words: Corn, drought tolerance, seed size, drought in sand

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

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

INTRODUCCIÓN

Todo factor ambiental que diste del óptimo para la planta le genera estrés, por lo tanto, el estrés es el efecto producido por un factor ambiental externo que dista del óptimo, actúa sobre la planta y genera respuestas. Las plantas pueden tomar agua del suelo siempre que el potencial hídrico del suelo sea mayor que el de la planta. Cuando hay sequía, es decir, un tiempo prolongado de sequedad, las plantas sufren estrés por déficit hídrico. El exceso y la falta de agua siempre han sido riesgos naturales de la agricultura. En la actualidad los agricultores sufren más que nunca los extremos climáticos, a pesar de los avances en la predicción del tiempo, del uso de satélites meteorológicos y de la existencia de avanzados modelos informáticos de simulación del clima. La sequía, a nivel de los trópicos, afecta la producción agrícola en casi un 60% de las tierras. En esta zona tropical el maíz no es cultivado, salvo con excepción, bajo riego, por lo que la variabilidad natural en la cantidad y distribución de la lluvia da lugar a que el estrés de sequía pueda ocurrir en cualquier momento del ciclo de su cultivo. En el cultivo del maíz las sequías reducen los rendimientos en cerca de 15% anualmente en las tierras bajas tropicales y subtropicales, llegando a causar pérdidas estimadas en 16 millones de toneladas de grano (Edmeades *et al.* 1992).

En Venezuela, el maíz (*Zea mays* L.) es un producto de consumo masivo, con una gran superficie sembrada, prácticamente se le puede encontrar en cualquier parte de nuestro territorio, y uno de los pocos cultivos con producción comercial de semillas. Es por estas razones que se ha de considerar de gran importancia evaluar genotipos para la tolerancia a la sequía, entre otros estreses. Por otra parte, la sequía puede presentar en cualquier momento y afectar los rendimientos de cualquier cultivo, incluyendo al maíz. Por ejemplo, en el estado Monagas se alternó un período muy seco (año 1989) con uno muy húmedo (1990), lo que aunado al aumento de los costos de producción contribuyeron para que la superficie de siembra disminuyera bruscamente, pasando de cerca de 50.000 ha en 1987 a 30.000 en 1992, durante el período 1995-1996 se cosecharon 18.000 ha de maíz (Millán y Malavé, 1991).

Las pruebas de calidad de semillas se dirigen a tratar de predecir: la vida de almacenamiento

de un lote de semillas o su calidad después de un período especificado, la emergencia en campo después de la siembra, y el subsiguiente vigor de las plántulas y el rendimiento final del cultivo (Ellis y Roberts, 1980). La técnica mayormente usada es la del envejecimiento acelerado; sin embargo, es cuestionada por la falta de estandarización (diferencias en humedad de la semilla, temperatura y duración del tratamiento (Musgrove *et al.* 1980)), lo que origina que pequeñas diferencias en el tratamiento de envejecimiento usado den lugar a variaciones en el vigor. Aparte es de mencionar que la técnica de envejecimiento acelerado no permite estudiar el efecto del estrés por sequía.

Un método sencillo, que no requiere de equipos especializados para identificar semilla de buena calidad, y que permite a la vez evaluar el efecto del estrés hídrico, es el empleo de compuestos o productos comerciales para simular bajo condiciones de laboratorio el estrés por sequía, entre éstos: manitol, glucosa, polietilene glicol (Martínez, 1999; Wong, 2002; Méndez *et al.* 2002a, 2002b, 2002c). Estas técnicas se basan en las premisas de que la planta que se desarrolla de una semilla que puede germinar mediante la absorción de agua en contra de un alto gradiente de presión osmótica, sería tolerante a la sequía (Vasudevan y Balasubramanian, 1965).

Por otro lado, el tamaño de la semilla induce 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 en la tolerancia a estas condiciones, como lo demuestra la investigación sobre el efecto del estrés por sequía en genotipos de maíz (Muchena y Grogan, 1977). Esto sugiere la posible selección de un determinado tamaño de semilla de un cultivar con objeto de brindar mayor tolerancia al estrés bien sea durante la germinación, o bien, durante los primeros días de crecimiento de las plántulas.

Esta investigación se realizó para evaluar el crecimiento de plántulas a partir de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz, bajo tres condiciones de sequía, en las que se simulaban en arena mediante tres soluciones osmóticas creadas con sacarosa, las tensiones a las que el agua fue retenida en el suelo (0, -0,6 y -1,2 MPa) como consecuencia de tres frecuencias de riego (24, 48 y 72 h), anteriormente estudiadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el umbráculo del Postgrado en Agricultura Tropical de la Universidad de Oriente, Edo. Monagas, Venezuela. Se evaluó el crecimiento de plántulas a partir de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz, bajo tres condiciones de sequía, en las que se simularon en arena mediante tres soluciones osmóticas las tensiones a las que el agua es retenida en el suelo (0, -0,6 y -1,2 MPa) como consecuencia de tres frecuencias de riego (24, 48 y 72 h), anteriormente estudiadas.

SUSTRATO Y SOLUCIONES

Se usó arena lavada de río no esterilizada, dejada secar al aire libre y cernida por medio de un tamiz de malla de 3 mm. Una vez efectuada la siembra se realizaron riegos diarios (250 ml/bandeja) empleando soluciones osmóticas creadas con sacarosa, para lo cual se agregó una cantidad en gramos de sacarosa comercial en un litro de agua de acuerdo a la concentración molal requerida para obtener el potencial osmótico deseado: 0, -0,6 y -1,2 MPa, según la ecuación de J. H. van't Hoff (Salisbury y Ross, 1992): $\psi_{os} = -CiRT$, 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 la sacarosa i = 1,0; R = constante de los gases (0,0831 Kg · bar mol⁻¹ · K⁻¹), y T = temperatura absoluta (K), en nuestro caso K = 303.

CULTIVARES, CRIBAJE DE LA SEMILLA

Se utilizó semilla certificada de los cultivares comerciales de maíz: Himeca 95 y Pioneer 3031, con un contenido de humedad promedio de 12%, tratadas con Vitavax 200 F (carboxin 17% + thiram 17%), para prevenir el crecimiento de hongos durante la germinación. Dos kilogramos de semillas de cada cultivar fueron sometidos a un proceso de selección, por el que las semillas se separaron en base al peso individual, en tres intervalos de peso, en lotes de 300 semillas: < 0,32 g, ≥ 0,32 - 0,36 g, y > 0,36 g.

SIEMBRA, DISEÑO EXPERIMENTAL

Se emplearon bandejas de aluminio (41 cm largo, 26,5 cm ancho y 10 cm alto), desinfectadas con cloro comercial (hipoclorito de sodio 5,25%) sin diluir, y posteriormente lavadas con abundante agua para eliminar el exceso de desinfectante. Cada bandeja con 10 kg de arena y 50 semillas arregladas en lotes de 25 de acuerdo al tratamiento correspondiente (repetición, sustrato, cultivar, tamaño de la semilla), distribuidas en 5 hileras de 5 semillas c/u (distancia entre plantas 3,70 cm y entre semillas 4,00 cm) y a 3,00 cm de profundidad. Se efectuaron riegos diarios de 250 ml agua/bandeja.

Se empleó el diseño estadístico de parcelas divididas con 4 repeticiones, donde la Parcela principal la conformaron los potenciales osmóticos (0 MPa (Testigo), -0,6 MPa y -1,2 MPa), las Subparcelas, los dos cultivares de maíz (Himeca 95 y Pioneer 3031), y las Subsubparcelas, los tres tamaños de las semillas (< 0,32 g; ≥ 0,32 - 0,36 g, y > 0,36 g.).

VARIABLES MEDIDAS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las respuestas de los cultivares de maíz a los distintos tratamientos fueron evaluadas a través de los siguientes parámetros: Altura de la plántula (cm): evaluada a los 4, 8, 12 y 16 días después de la siembra (d), en función de la hoja de mayor longitud (desde el suelo hasta el ápice de la hoja extendida). El resto de los parámetros de crecimiento fueron estimados a los 16 días: Longitud radicular (cm): a partir de la raíz de mayor longitud (desde el cuello del vástago hasta el meristema apical de la misma), Volumen radicular (ml): estimado mediante el desplazamiento de agua producto de la inmersión de la raíz, Pesos frescos del vástago y la radícula (g), Pesos secos del vástago y la radícula (g): secados en estufa a 70°C por 72 h, Relación altura de la plántula/longitud radicular, y Relación peso seco del vástago/peso seco radicular.

Los resultados fueron sometidos al análisis de varianza convencional, sólo se transformó la altura de las plántulas a los 4 días después de la siembra mediante 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

–Altura de la plántula (cm)

Los análisis de varianza para la altura de la plántula a los 4, 8, 12 y 16 d (Cuadro 1) muestran diferencias significativas para la interacción potencial osmótico x cultivar de maíz x tamaño de la semilla y los factores simples potencial osmótico y cultivar de maíz a los 4 d, mientras fueron significativos la interacción potencial osmótico x tamaño de la semilla y los factores simples potencial osmótico y tamaño de la semilla a los 8, 12 y 16 d.

Al analizar la doble interacción potencial osmótico x cultivar x tamaño de la semilla a los 4 d (Cuadro 2), se observa que en el cultivar Himeca 95 la altura de las plántulas a los 4 d originadas de semillas pequeñas fue mayor en el potencial osmótico de $-0,6$ MPa, que en los potenciales de 0 y $-1,2$ MPa, quienes resultaron estadísticamente iguales entre sí. Para este mismo cultivar la altura de las plántulas a los 4 d originadas por semillas medianas no presentó diferencias en ninguno de los potenciales estudiados, y la altura de las plántulas a los 4 d producidas por semillas grandes fue mayor

en el testigo ($\psi_{os} = 0$ MPa), seguido por la altura de las plántulas en el potencial de $-0,6$ MPa, y éste por la altura de las plántulas crecidas en el potencial de $-1,2$ MPa, los tres distintos entre si estadísticamente. Al comparar entre tamaños de semilla en un mismo potencial para el cultivar Himeca 95, en el testigo la mayor altura la presentaron las plántulas provenientes de semillas grandes, seguidas por la altura de las originadas a partir de semillas medianas y pequeñas, estas últimas estadísticamente similares entre sí. En el cultivar Himeca 95 no existieron diferencias entre los distintos tamaños de semilla en el potencial osmótico de $-0,6$ MPa y en el potencial de $-1,2$ MPa. En cuanto al cultivar Pioneer 3031, no existieron diferencias estadísticas para la altura de las plántulas a los 4 d en ninguno de los potenciales osmóticos estudiados en todos los tamaños de semilla. Al comparar entre cultivares a un mismo nivel de potencial osmótico y de tamaño de semilla, aun cuando la mayor altura de las plántulas crecidas en el testigo originadas a partir de semillas pequeñas correspondió a Pioneer 3031, en el potencial osmótico de $-0,6$ MPa no existieron diferencias estadísticas entre los cultivares, mientras que en el potencial osmótico de $-1,2$ MPa la mayor

Cuadro 1

Análisis de varianza para la altura de la plántula (cm) a los 4, 8, 12 y 16 días después de la siembra (d) de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.), sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa. Datos transformados mediante $\sqrt{(X + 0,5)}$ para la altura de plántula a los 4 d

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios para altura de plántula (d)							
		4		8		12		16	
Repetición	3	0,016	1,021	ns	7,008	ns	3,643	ns	
Potencial osmótico (P)	2	0,236	445,7	*	2547,9	*	6018,0	*	
Error (a)	6	0,021	4,372		11,107		9,251		
Cultivar de maíz (C)	1	0,476	11,802	ns	3,690	ns	0,773	ns	
P x C	2	0,029	0,787	ns	5,064	ns	0,897	ns	
Error (b)	9	0,020	2,693		3,154		1,758		
Tamaño de semilla (T)	2	0,019	10,476	*	16,933	*	16,129	*	
P x T	4	0,035	3,618	*	5,907	*	7,939	*	
C x T	2	0,012	0,493	ns	2,353	ns	0,527	ns	
P x C x T	4	0,080	1,408	ns	0,750	ns	0,676	ns	
Error (c)	36	0,019	1,164		2,221		0,943		
Total	71								
C. V. (a) (%)		14,07	28,51		28,31		18,48		
C. V. (b) (%)		13,73	22,37		15,09		8,06		
C. V. (c) (%)		13,38	14,71		12,66		5,90		

GL = Grados de Libertad *: Significativo ($p \leq 0,05$) ns: No significativo ($p > 0,05$).

Cuadro 2

Promedios para la altura de la plántula (cm) a los 4 días después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa

Cultivares	Altura de la plántula (cm) †			
	Tamaños de las semillas (g)			
	Potenciales osmóticos (MPa)	< 0,325	≥ 0,32– 0,36 ≤	> 0,36
Himeca 95	0	0,86 BbY	0,96 AbY	1,28 AaX
	–0,6	1,09 AaX	0,99 AaX	0,97 BaY
	–1,2	0,78 BaY	0,87 AaX	0,74 CaY
Pioneer 3031	0	1,16 AaX	1,25 AaX	1,12 AaX
	–0,6	1,07 AaX	1,11 AaX	1,18 AaX
	–1,2	1,03 AaX	1,05 AaX	1,03 AaX

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$). Letras mayúsculas (de A a C) para comparaciones entre potenciales osmóticos a un mismo nivel de tamaño de semilla y cultivar. Letras minúsculas para la comparación de los diferentes tamaños de semilla a un mismo tipo de potencial osmótico y cultivar. Letras mayúsculas (X e Y) para comparaciones entre cultivares a un mismo nivel de potencial osmótico y tamaño de semilla.

altura la presentó Pioneer 3031. La menor altura de las plántulas crecidas en el testigo originadas a partir de semillas medianas correspondió a Himeca 95, mientras que en el potencial osmótico de –0,6 y –1,2 MPa no existieron diferencias estadísticas entre los cultivares. No existieron diferencias estadísticas entre las alturas de las plántulas de ambos cultivares crecidas en el testigo originadas a partir de semillas grandes, mientras que en el potencial osmótico de –0,6 MPa la mayor altura la presentaron las plántulas de Pioneer 3031, y ocurrió igual en el potencial osmótico de –1,2 MPa.

Al analizar la interacción potencial osmótico x tamaño de la semilla a los 8 d (Cuadro 3) se observa que la altura de las plántulas originadas a partir de los tres tamaños de semilla fue mayor en el testigo ($\psi_{os} = 0$ MPa), seguidas por la altura de las plántulas para los tres tamaños de semilla en el potencial osmótico de –0,6 MPa, mientras que en el potencial osmótico de –1,2 MPa no existió variación en la altura de las plántulas originadas de semillas pequeñas y medianas, respecto a las provenientes por estos dos tipos de tamaño en el potencial osmótico de –0,6 MPa, pero sí en la altura de las plántulas provenientes de semilla grande en el potencial osmótico de –1,2 MPa que resultaron estadísticamente inferiores a aquellas obtenidas de semillas grandes en el potencial osmótico de –0,6 MPa. Al comparar entre tamaños de semilla para un mismo potencial osmótico, en el testigo la mayor

altura de las plántulas correspondió a las originadas de semillas grandes y medianas, estadísticamente iguales entre sí y superiores a la altura de las provenientes de semillas pequeñas. En el potencial osmótico de 6 MPa al igual que en el de –1,2 MPa no existió diferencia en la altura de las plántulas entre los tres tamaños de semilla.

Al analizar la interacción potencial osmótico x tamaño de la semilla a los 12 d (Cuadro 4) se observa que la altura de las plántulas originadas a partir de los tres tamaños de semilla fue mayor en el testigo ($\psi_{os} = 0$ MPa), seguidas por la altura de las plántulas para los tres tamaños de semilla en el potencial osmótico de –0,6 y –1,2 MPa, estos últimos similares estadísticamente entre sí. Al compara entre tamaños de semilla para un mismo potencial osmótico, en el testigo la mayor altura de las plántulas correspondió a las originadas de semillas grandes y medianas, estadísticamente iguales entre sí y superiores a la altura de las provenientes de semillas pequeñas. En el potencial osmótico de –0,6 MPa al igual que en el de –1,2 MPa no existió diferencia en la altura de las plántulas entre los tres tamaños de semilla.

Al analizar la interacción potencial osmótico x tamaño de la semilla a los 16 d (Cuadro 5) se observa que la altura de las plántulas originadas a partir de los tres tamaños de semilla fue mayor en el testigo ($\psi_{os} = 0$ MPa), seguidas por la altura de las plántulas para los tres tamaños de semilla en

Cuadro 3

Promedios para la altura de la plántula (cm) a los 8 días después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa

Potenciales osmóticos (MPa)	Altura de la plántula (cm) †		
	Tamaños de las semillas (g)		
	< 0,325	≥ 0,32– 0,36 ≤	> 0,36
0	10,77 Ab	12,65 Aa	13,45 Aa
-0,6	4,76 Ba	5,57 Ba	5,556 Ba
-1,2	4,20 Ba	4,80 Ba	4,29 Ca

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$).
 Letras mayúsculas para las comparaciones verticales.
 Letras minúsculas para las comparaciones horizontales.
 Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

Cuadro 4

Promedios para la altura de la plántula (cm) a los 12 días después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa

Potenciales osmóticos (MPa)	Altura de la plántula (cm) †		
	Tamaños de las semillas (g)		
	< 0,325	≥ 0,32– 0,36 ≤	> 0,36
0	21,60 Ab	24,475 Aa	24,91 Aa
-0,6	5,66 Ba	6,702 Ba	6,53 Ba
-1,2	5,16 Ba	5,579 Ba	5,37 Ba

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$).
 Letras mayúsculas para las comparaciones verticales.
 Letras minúsculas para las comparaciones horizontales.
 Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

Cuadro 5

Promedios para la altura de la plántula (cm) a los 16 días después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa

Potenciales osmóticos (MPa)	Altura de la plántula (cm) †		
	Tamaños de las semillas (g)		
	< 0,325	≥ 0,32– 0,36 ≤	> 0,36
0	32,75 Ab	34,85 Aab	36,59 Aa
-0,6	7,16 Ba	8,16 Ba	7,68 Ba
-1,2	6,68 Ba	7,13 Ca	7,04 Ba

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$).
 Letras mayúsculas para las comparaciones verticales.
 Letras minúsculas para las comparaciones horizontales.
 Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

el potencial osmótico de $-0,6$ MPa, mientras que en el potencial osmótico de $-1,2$ MPa la altura de las plántulas originadas de semillas pequeñas y grandes no varió respecto a la altura de las plántulas producidas por semillas de estos dos tamaños en el potencial osmótico de $-0,6$ MPa, pero sí la altura de aquellas plántulas originadas de semillas de tamaño mediano, que fue estadísticamente inferior respecto a la altura de las plántulas para este tipo de tamaño de semilla en el potencial de $-0,6$ MPa. Al comparar entre tamaños de semilla para un mismo potencial osmótico, en el testigo la mayor altura de las plántulas correspondió a las originadas de semillas grandes estadísticamente iguales a la altura de las plántulas provenientes de semillas medianas, y la menor altura para las originadas de semillas pequeñas, similar estadísticamente a la anterior, pero diferentes a la primera. En el potencial osmótico de $-0,6$ MPa al igual que en el de $-1,2$ MPa no existió diferencia en la altura de las plántulas entre los tres tamaños de semilla.

–Longitud de la radícula (cm)

El análisis de varianza para la longitud de la radícula a los 16 d (Cuadro 6) indica significación sólo para los factores potencial osmótico y cultivar de maíz.

La prueba de promedios para la longitud de la radícula por efecto del factor potencial osmótico (Cuadro 7) evidencia radículas estadísticamente más largas en el testigo ($\psi_{os} = 0$ MPa) y radículas más pequeñas en longitud en el potencial osmótico de $-0,6$ y $-1,2$ MPa, estos últimos estadísticamente similares entre sí. En la separación de medias para el factor cultivar (Cuadro 8), las radículas de mayor longitud correspondieron a Himeca 95 estadísticamente superior a Pioneer 3031.

–Volumen radicular (ml)

En el Cuadro 6 es mostrado el análisis de varianza para el volumen de la radícula a los 16 d, el

Cuadro 6

Análisis de varianza para longitud de la radícula (LR) (cm), volumen de la radícula (VR) (ml), peso fresco del vástago (PFV) (g) y peso fresco de la radícula (PFR) (g), a los 16 días después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.), sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa. Datos originales

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios							
		LR (cm)		VR (ml)		PFV (g)		PFR (g)	
Repetición	3	54,389	ns	0,092	ns	7,230	ns	37,126	ns
Potencial osmótico (P)	2	12902,1	*	26,31	*	8765,64	*	7602,13	*
Error (a)	6	66,307		0,035		5,196		35,680	
Cultivar de maíz (C)	1	217,01	*	0,180	ns	2,420	ns	278,126	*
P x C	2	2,198	ns	0,020	ns	13,012	ns	8,019	ns
Error (b)	9	30,285		0,050		8,838		5,240	
Tamaño de semilla (T)	2	2,739	ns	0,001	ns	42,946	*	41,409	*
P x T	4	3,483	ns	0,051	*	20,268	*	9,330	ns
C x T	2	7,696	ns	0,021	ns	9,171	ns	2,756	ns
P x C x T	4	5,223	ns	0,023	ns	6,008	ns	9,499	ns
Error (c)	36	9,490		0,019		5,161		8,162	
Total	71								
C. V. (a) (%)		42,48		16,80		15,45		24,44	
C. V. (b) (%)		28,71		20,08		20,15		9,37	
C. V. (c) (%)		16,07		12,38		15,40		11,69	

GL = Grados de Libertad *: Significativo ($p \leq 0,05$) ns: No significativo ($p > 0,05$).

Cuadro 7

Promedios para la longitud de la radícula (LR) (cm), peso fresco (PFR) y seco (PSR) de la radícula (g), y relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula (RPSV/PSR), a los 16 días después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa. Efecto de los potenciales osmóticos

Potencial osmótico (MPa)	LR (ml) †	PFR (g) †	PSR (g) †	RPSV/PSR †
0	45,92 A	45,00 A	4,344 A	0,63 A
-0,6	6,80 B	14,11 B	2,478 B	0,15 B
-1,2	4,81 B	14,22 B	,323 B	0,19 B

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$). Letras iguales indican promedios estadísticamente iguales.

Cuadro 8

Promedios para la longitud de la radícula (LR) (cm), peso fresco de la radícula (PFR) (g) y peso seco de la radícula (PSR) (g), a los 16 días después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa. Efecto de los cultivares

Cultivares	LR (cm) †	PFR (g) †	PSR (g) †
Pioneer 3031	20,91 A	26,41 A	3,19 A
Himeca 95	17,44 B	22,48 B	2,91 B

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$). Letras iguales indican promedios estadísticamente iguales.

cual arrojó significación únicamente para la interacción potencial osmótico x tamaño de la semilla y el efecto simple potencial osmótico. El analizar la interacción potencial osmótico x tamaño de la semilla (Cuadro 9) se observa que la altura de las plántulas originadas a partir de los tres tamaños de semilla fue mayor en el testigo ($\psi_{os} = 0$ MPa), seguidas por la altura de las plántulas para los tres tamaños de semilla en el potencial osmótico de $-0,6$ y $-1,2$ MPa, estadísticamente similares entre sí y menores respecto al testigo. Al comparar entre tamaños de semilla para un mismo potencial osmótico, en el testigo la mayor altura de las plántulas correspondió a las originadas de semillas pequeñas, estadísticamente iguales a la altura de la plántulas provenientes de semillas medianas, y la menor altura para las originadas de semillas grandes, similares estadísticamente a la anterior, pero diferente a la primera. En el potencial osmótico de $-0,6$ MPa al igual que en el de $-1,2$ MPa no existió diferencia en la altura de las plántulas entre los tres tamaños de semilla.

-Peso fresco del vástago (g)

El análisis de varianza para este carácter (Cuadro 6) señala diferencias significativas únicamente para la interacción potencial osmótico x tamaño de la semilla y para los efectos simples potencial osmótico y tamaño de la semilla.

Al analizar la interacción potencial osmótico x tamaño de la semilla (Cuadro 10) se observa que en potencial osmótico que la altura de las plántulas originadas a partir de los tres tamaños de semilla fue mayor en el testigo ($\psi_{os} = 0$ MPa), mientras que en el potencial osmótico de $-0,6$ MPa la altura de las plántulas originada por semillas pequeñas no varió respecto a las originadas por el mismo tamaño de semilla en el testigo, pero la altura de las plántulas producidas por semillas de tamaño mediano y grande en este potencial fue estadísticamente inferior a las originadas por estos dos tamaños de semilla en el testigo. En el potencial osmótico de $-1,2$ MPa, únicamente la altura de las plántulas producidas por semillas pequeñas fue estadísticamente inferior a las producidas

Cuadro 9

Promedios para el volumen de la raíz (ml) a los 16 días después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa

Potencial osmótico (MPa)	Volúmenes de las raíces (ml) †					
	Tamaños de las semillas (g)					
	< 0,325		≥ 0,32– 0,36 ≤		> 0,36	
0	2,43	Aa	2,30	Aab	2,25	Ab
-0,6	0,47	Ba	0,51	Ba	0,56	Ba
-1,2	0,46	Ba	0,52	Ba	0,56	Ba

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$).
 Letras mayúsculas para las comparaciones verticales.
 Letras minúsculas para las comparaciones horizontales.
 Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

Cuadro 10

Promedios para el peso fresco del vástago (g) a los 16 días después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa

Potenciales osmóticos (MPa)	Peso fresco del vástago (g) †					
	Tamaños de las semillas (g)					
	< 0,325		≥ 0,32– 0,36 ≤		> 0,36	
0	33,75	Ac	37,26	Ab	39,73	Aa
-0,6	3,30	Aa	4,27	Ba	3,94	Ba
-1,2	3,08	Ba	3,72	Ba	4,01	Ba

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$).
 Letras mayúsculas para las comparaciones verticales.
 Letras minúsculas para las comparaciones horizontales.
 Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

por el mismo tamaño de semilla en el potencial osmótico de $-0,6$ MPa, la altura de las plántulas originadas por semillas de tamaño mediano y grande en este potencial fue estadísticamente igual a las producidas por estos dos tamaños de semilla en el potencial osmótico de $-0,6$ MPa. Al comparar entre tamaños de semilla para un mismo potencial osmótico, en el testigo la mayor altura de las plántulas correspondió a las originadas de semillas grandes, seguidas por las producidas por semillas medianas, y éstas por las originadas de semillas pequeñas, estadísticamente diferentes las tres entre sí. En el potencial osmótico de $-0,6$ MPa al igual que en el de $-1,2$ MPa no existió diferencia en la altura de las plántulas entre los tres tamaños de semilla.

–Peso fresco de la raíz (g)

El respectivo análisis de varianza para el peso fresco de la raíz a los 16 d (Cuadro 6) denota diferencias significativas sólo para los factores simples potencial osmótico, cultivar de maíz y tamaño de semilla.

La prueba de separación de medias para el factor potencial osmótico (Cuadro 7) señala mayores pesos frescos de las raíces para las plántulas crecidas en el testigo ($\psi_{os} = 0$ MPa), estadísticamente superiores a las crecidas en el potencial osmótico de $-0,6$ y $-1,2$ MPa, estas últimas similares estadísticamente entre sí.

La prueba de separación de promedios para el factor cultivar (Cuadro 8) indica que el mayor

peso fresco para la radícula se presentó en el cultivar Himeca 95, estadísticamente superior a Pioneer 3031.

La prueba de separación de medias para el factor tamaño de las semillas (Cuadro 11) señala mayores pesos frescos de las radículas para las plántulas originadas a partir de semillas grandes, estadísticamente iguales al peso fresco de las radículas originadas por semillas medianas, y el menor peso fresco de la radícula para las plántulas originadas de semillas pequeñas, similares estadísticamente a las anteriores, pero diferentes a las primeras.

-Peso seco del vástago (g)

El análisis de varianza para este carácter (Cuadro 12) señala diferencias significativas sólo para los efectos simples potencial osmótico y tamaño de la semilla y para la interacción potencial osmótico x tamaño de la semilla.

El análisis de la interacción potencial osmótico x tamaño de la semilla (Cuadro 13) indica que el peso seco del vástago de las plántulas originadas a partir de los tres tamaños de semilla en el testigo ($\psi_{os} = 0$ MPa) fue estadísticamente superior al peso

Cuadro 11

Promedios para el peso fresco de la radícula (PFR) (g) y para la relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula (RPSV/PSR), a los 16 días después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa. Efecto de los tamaños de las semillas

Tamaños de las semillas (g)	PFR (g) †	RPSV/PSR †
> 0,36	25,81 A	0,34 A
≥ 0,32 – 0,36 ≤	24,33 AB	0,35 A
< 0,325	22,19 B	0,29 B

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$). Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes dentro de una misma columna.

Cuadro 12

Análisis de varianza para peso seco del vástago (PSV) (g), peso seco de la radícula (PSR) (g), relación altura de la plántula/longitud de la radícula (RAP/LR) y relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula (RPSV/PSR) a los 16 días después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa. Datos originales

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios							
		PSV (g)		PSR (g)		RAP/LR		RPSV/PSR	
Repetición	3	0,033	ns	0,293	ns	0,455	ns	0,003	ns
Potenciales osmóticos (P)	2	43,016	*	30,343	*	7,214	*	1,702	*
Error (a)	6	0,026		0,216		1,042		0,004	
Cultivares de maíz (C)	1	0,260	ns	1,389	ns	8,096	*	0,003	ns
P x C	2	0,026	ns	0,006	ns	2,749	*	0,000	ns
Error (b)	9	0,061		0,030		0,464		0,002	
Tamaños de semilla (T)	2	0,418	*	0,351	*	0,211	ns	0,022	*
P x T	4	0,156	*	0,282	ns	0,067	ns	0,002	ns
C x T	2	0,078	ns	0,071	ns	0,277	ns	0,003	ns
P x C x T	4	0,050	ns	0,050	ns	0,092	ns	0,002	ns
Error (c)	36	0,029		0,135		0,193		0,004	
Total	71								
C. V. (a) (%)		13,59		15,27		77,40		19,04	
C. V. (b) (%)		20,81		5,69		51,65		15,21	
C. V. (c) (%)		14,35		12,07		33,31		20,18	

GL = Grados de Libertad * : Significativo ($p \leq 0,05$) ns: No significativo ($p > 0,05$)

Cuadro 13

Promedios para el peso seco del vástago (g) a los 16 días después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa

Potenciales osmóticos (MPa)	Peso seco del vástago (g) †		
	Tamaños de las semillas (g)		
	< 0,325	≥ 0,32– 0,36 ≤	> 0,36
0	2,45 Ab	2,71 Aa	3,02 Aa
-0,6	0,33 Ba	0,39 Ba	0,37 Ba
-1,2	0,36 Ba	0,46 Ba	0,54 Ba

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$).
 Letras mayúsculas para las comparaciones verticales.
 Letras minúsculas para las comparaciones horizontales.
 Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

Cuadro 14

Promedios para la relación de altura de la plántula/longitud de la radícula a los 16 días después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa

Potenciales osmóticos (MPa)	Relación altura de la plántula/Longitud de la radícula †	
	Cultivares	
	Himeca 95	Pioneer 3031
0	0,80 Ca	0,80 Aa
-0,6	1,60 Ba	1,03 Aa
-1,2	2,57 Aa	1,17 Ab

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$).
 Letras mayúsculas para las comparaciones verticales.
 Letras minúsculas para las comparaciones horizontales.
 Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

seco del vástago de las plántulas originadas por estos tres tamaños de semilla en los potenciales osmóticos de -0,6 y -1,2 MPa. Siendo las alturas en estos dos últimos potenciales por efecto de los distintos tamaños de semilla estadísticamente iguales entre sí. Al comparar entre tamaños de semilla en un mismo potencial, en el testigo el peso fresco del vástago fue mayor en las plántulas originadas de semillas grandes, seguido por el de las semillas medianas, y éste por el de las semillas pequeñas, todos ellos estadísticamente distintos entre sí. No existieron diferencias estadísticas en el peso seco del vástago entre las plántulas producidas por los tres tamaños de semilla en el potencial osmótico de -0,6 MPa y en el de -1,2 MPa.

-Peso seco de la radícula (g)

El análisis de varianza para el peso seco de la radícula a los 16 d (Cuadro 12) refleja significación únicamente para los factores simples potencial osmótico y cultivar de maíz.

La prueba de medias para el factor potencial osmótico (Cuadro 7) señala que el mayor peso seco de la radícula lo presentaron las plántulas crecidas en el testigo ($\psi_{os} = 0$ MPa), seguidas por las plántulas crecidas en los potenciales osmóticos de -0,6 y -1,2 MPa, estos últimos similares estadísticamente entre sí.

La prueba de separación de promedios para el factor cultivar (Cuadro 8) indica un mayor peso seco de las radículas en el cultivar Himeca 95, respecto a Pioneer 3031.

-Relación altura de la plántula/longitud de la radícula

El análisis de varianza para la relación altura de la plántula/longitud de la radícula a los 16 d (Cuadro 12) encontró sólo diferencias significativas para los efectos simples potencial osmótico y cultivares de maíz y para la interacción potencial osmótico x cultivar de maíz.

El análisis de la interacción potencial osmótico y tamaño de la semilla (Cuadro 14) indica que el valor de la relación altura de la plántula/longitud de la radícula en el cultivar Pioneer 3031 fue mayor en el potencial osmótico de $-1,2$ MPa, seguido por el del potencial osmótico de -6 MPa, y éste por el del testigo ($\psi_{os} = 0$ MPa), los tres estadísticamente distintos entre sí. Mientras que en el cultivar Himeca 95 no existieron diferencias en el valor de esta relación entre ninguno de los tres potenciales estudiados. Al comparar entre cultivares para un mismo potencial osmótico, en los potenciales 0 y $-0,6$ MPa no se observaron diferencias estadísticas en el valor de la relación entre los cultivares, pero sí en el potencial de $-1,2$ MPa en el que Pioneer 3031 presentó mayor valor en la relación que Himeca 95.

-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 16 d (Cuadro 12) señala diferencias significativas sólo para los factores potencial osmótico y tamaño de la semilla.

La prueba de separación de medias para el factor potencial osmótico (Cuadro 7) señala mayor relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula en el testigo ($\psi_{os} = 0$ MPa), superior al valor de esta relación en los potenciales osmóticos de $-0,6$ y $-1,2$ MPa, estos últimos estadísticamente iguales entre sí.

La prueba de separación de promedios para el factor tamaño de la semilla (Cuadro 11) indica mayor relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula para las plántulas provenientes de semillas grandes y medianas, estadísticamente iguales entre sí, y superiores al valor de la relación para las plántulas originadas de semillas pequeñas.

DISCUSIÓN

En el ensayo en el que se empleó como sustrato arena regada con soluciones osmóticas de sacarosa en distintas concentraciones para simular las tensiones a las que el agua fue retenida en el suelo como consecuencia de las tres frecuencias de riego de un primer ensayo en sequía, en los caracteres de crecimiento dominaron las interacciones potencial osmótico x tamaño de semilla, indicando una mayor importancia del tamaño de la semilla que del genotipo *per se*. Lo que no permite diferenciar entre los cultivares a nivel de crecimiento de plántulas.

En los caracteres de crecimiento la interacción potencial osmótico x tamaño de la semilla mostró en todos ellos que semillas de mayor tamaño producen plántulas más grandes evidenciando un mayor vigor, pero que este efecto se pierde o enmascara cuando disminuye el potencial osmótico, no apreciándose así diferencias en el crecimiento de las plántulas por efecto del tamaño de la semilla. Queda la incógnita de si al trabajar con potenciales menores de $-1,2$ MPa las semillas de pequeño tamaño sean capaces o no de producir plántulas mayores a aquellas provenientes de semillas de tamaño mediano y grande.

Después de la interacción potencial osmótico x tamaño de la semilla, el factor potencial osmótico fue el que más influyó los caracteres evaluados para crecimiento, seguido del factor cultivar, y éste por el factor tamaño de la semilla, mostrando así el orden de importancia en el que influyen éstos en el crecimiento de plántulas de maíz en los ensayos en arena para sequía.

El crecimiento de las plántulas de maíz se vio afectado por las condiciones de estrés hídrico creadas en el ensayo. Reducciones en los caracteres de crecimiento en distintos cultivares de maíz han sido señaladas por Méndez *et al.* (2002a), quienes evaluaron soluciones de glucosa y su efecto en los cultivares de maíz Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031, encontraron que en todos los parámetros de crecimiento evaluados, reducciones en el potencial osmótico causaron una disminución de los valores de los caracteres; y por Méndez *et al.* (2002c), quienes estudiaron el efecto de soluciones del polietileno glicol en tres cultivares de maíz (Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031), y encontraron que, en general, reducciones en los potenciales osmóticos causaron una disminución de los valores en todos los caracteres de crecimiento

evaluados, los porcentajes de reducción a -3 y -6 bares fueron, respectivamente: 90,64 y 99,57% para la altura de la plántula; 78,51 y 98,16% para la longitud de la radícula; 54,56 y 92,33% para el número de las hojas/plántula; 78,75 y 98,27% para el peso seco del vástago; 59,37 y 97,88% para el peso seco de la radícula; 52,09 y 92,30% para la relación altura de plántula/longitud de la radícula y 52,99 y 93,10% para la relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula. Observándose que reducciones en los potenciales osmóticos disminuyeron los valores de todos los caracteres, siendo el efecto más drástico a -6 bares. Los resultados indicaron que el polietileno glycol 400 no diferenció la resistencia y/o tolerancia a la sequía (estrés hídrico) entre los cultivares.

Al incrementar la concentración de la solución osmótica, la longitud, el volumen y peso seco de la radícula disminuyeron por la reducción del potencial osmótico. Al respecto, De Santa Olalla y De Juan Valero (1993) señalan que el déficit hídrico no sólo reduce la actividad meristemática y el alargamiento radical, sino que aumenta la suberización de las raíces con el consiguiente efecto negativo sobre la absorción de agua y nutrimentos. Parecen existir dos efectos del potencial osmótico: a corto plazo (Kramer 1989) la inmersión de raíces en soluciones con potencial osmótico de -2 a -3 bares produce una deshidratación leve de las membranas de paredes y células, incrementando la resistencia al flujo hídrico; en períodos más largos se reduce el alargamiento de la raíz y se aumenta la suberización, lo cual se traduce en sistemas de raíces más pequeñas con mayor resistencia al movimiento del agua que se encuentra en las raíces producidas en disoluciones diluidas (Hayward y Blair, 1942).

En la reducción de los caracteres de crecimiento se observó diferente sensibilidad a la sequía entre las radículas y los vástagos. En el ensayo se apreció un incremento en la relación altura de las plántulas/longitud de las radículas con la reducción del potencial del agua en el suelo por una disminución del potencial osmótico. Resultados distintos a los aquí observados para esta relación al emplear otro sustrato fueron obtenidos por Méndez, *et al.* (2002a), quienes en condiciones de laboratorio en un ensayo en papel al estudiar la relación altura de la plántula/longitud de la radícula en los cultivares de maíz Cargill 633, Pioneer 3031 e Himeca 2003, encontraron que ésta disminuyó con la reducción del potencial osmótico creado con glucosa. En re-

lación a estas observaciones Parsons (1991) indica que una respuesta a la deficiencia de agua incluye un cambio morfológico que da lugar a una relación mayor de raíz/parte aérea. Esto puede deberse a una disminución del crecimiento del tallo, al aumento del crecimiento de la raíz o a ambos. Hsiao y Acevedo, citados por Parsons (1991), señalan que, en ciertos casos, la deficiencia hídrica no aumentó el crecimiento de la raíz en relación al crecimiento del tallo, como en el maíz, y que el crecimiento de la raíz se incrementó por sí mismo. En este estudio se sugirió que la influencia del agua fue relativamente ligera, de tal modo que se redujo el crecimiento del tallo, pero no se restringió el proceso fotosintético. Esto permitiría aumentar los fotosintatos, debido al crecimiento degenerado del tallo, los cuales estarían disponibles para el ajuste osmótico y el crecimiento extra de las raíces. La mayor proliferación de la raíz permitiría la exploración de un mayor volumen de suelo y, como consecuencia, una sobrevivencia más larga de la planta. Hsiao y Acevedo sugirieron que estos incrementos absolutos de la raíz podrían ser de utilidad en los cultivos con tubérculos, como la remolacha azucarera. Sin embargo, la raíz del maíz no es un órgano principal de almacenamiento, y las raíces cuya función principal es el almacenamiento pueden comportarse de manera distinta a las raíces, cuya función está encaminada a la absorción.

Variación entre cultivares en etapas tempranas del crecimiento de plántulas por efecto de estrés hídrico creado con soluciones osmóticas ha sido señalada por Méndez *et al.* (2002b), quienes estudiaron los efectos de soluciones de manitol en tres cultivares de maíz (Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031) y observaron que tanto el peso del vástago como el de la radícula fueron severamente reducidos a potenciales de -9 y -12 bares, siendo la reducción mayor en el peso del vástago para Himeca 2003 y Pioneer 3031, mientras que para el peso de la radícula, la reducción mayor la presentó Pioneer 3031. Los resultados indicaron que la evaluación para resistencia o tolerancia a la sequía de los genotipos de maíz puede ser realizada a -6 bares, por ser el potencial osmótico donde hubo la mayor variabilidad entre cultivares tomando en cuenta los tres caracteres donde la interacción cultivares x potencial osmótico fue significativa (porcentaje de germinación y los pesos secos del vástago y de la radícula).

Existió superioridad en el crecimiento de plántulas de maíz originadas a partir de semillas medianas

y grandes en el testigo (0 MPa), por lo que el uso de tales semillas puede representar una ventaja en suelos no sometidos a sequía. Al respecto, Galeshi *et al.* (2001) estudiaron 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 utilización de reservas de la semilla y el crecimiento de plántulas de dos genotipos de garbanzo (*Cicer arietinum* L.), Jam y Kaka, y encontraron que las plántulas provenientes de semillas grandes tuvieron mayores longitudes de raíces y brotes, y tasa de crecimiento 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 indiferentemente del tamaño de la semilla. La ventaja de las semillas grandes fue un resultado de su capacidad de proveer energía más rápidamente para el crecimiento de las plántulas. Decrecimientos del potencial osmótico consecuentemente disminuyeron en forma progresiva las longitudes de las raíces y brotes y la tasa de crecimiento. 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 a 21%. Estos autores también señalan que bajo condiciones no salinas las semillas de mayor tamaño fueron superiores, pero disminuciones del potencial osmótico acabaron con esta ventaja, de modo que no existieron diferencias significantes entre los tamaños de semilla grande, mediano y pequeño a potenciales osmóticos de -0,6 y -0,9 MPa. En consecuencia, según lo que se desprende de los resultados de la presente investigación, el uso de semillas medianas y grandes de maíz pudiera ser una ventaja en la producción de plántulas más vigorosas en suelos no sometidos a sequía.

La influencia del tamaño de las semillas sobre la subsiguiente emergencia de las plántulas ha sido objeto de varios trabajos, por ejemplo, Soltani *et al.* (2002); Larsen y Andreasen (2004), Willenborg *et al.* (2005) y Peñaloza *et al.* (2005), encontraron que las semillas de mayor tamaño presentaron un porcentaje superior de germinación, requirieron menos tiempo para alcanzar el 50% y produjeron plántulas más fuertes. Soltani *et al.* (2002) consideran que la ventaja de las semillas grandes radica en su capacidad de proveer energía más rápidamente

para el crecimiento de las plántulas; sin embargo, Peñaloza *et al.* (2005) estiman que el efecto del tamaño de las semillas está asociado al tamaño del embrión y no a la conversión bioquímica de las reservas en los tejidos, de tal manera que un mayor tamaño embrionario permite un crecimiento más rápido de las plántulas.

El uso de semillas grandes pudiera ser una ventaja en la producción de plántulas más vigorosas bajo condiciones salinas; sin embargo, estas diferencias parecieran no prevalecer en estos medios; así, Soltani *et al.* (2002) señalan que para garbanzo, la clasificación de semillas no resultó en una diferenciación entre plántulas, de modo que no existieron diferencias significantes entre los tamaños de semilla grande, mediana y pequeña a potenciales osmóticos de -0,6 y -0,9 MPa. Estos autores consideran que la reducción en la tasa de crecimiento con la disminución del potencial osmótico es el resultado de una baja progresiva en la tasa de utilización de las reservas de la semilla. En adición, en ambientes salinos, pueden presentarse: estrés osmótico, toxicidad de los iones Na^+ y Cl^- e imbalance iónico (Mwai *et al.* 2004, Hu *et al.* 2005). Algunos autores (Neumann, 1997; Zhongjin y Neumann, 1999; Prado *et al.* 2000; El-Keblawy, 2004; Mwai *et al.* 2004) consideran que el efecto primario de la salinidad sobre la germinación y posterior emergencia de las plántulas, es el desarrollo de una sequía fisiológica por reducción de la absorción de agua, producto del bajo potencial osmótico del agua edáfica, la cual adversamente afecta el alargamiento y expansión celular tanto en los ejes embrionarios como en los cotiledones, procesos inducidos normalmente por la absorción de agua y la presión de turgencia.

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren el uso de potenciales osmóticos de -1,2 MPa creados con sacarosa para la diferenciación de la tolerancia al estrés hídrico de cultivares de maíz a nivel de crecimiento de plántulas, mostrando ventajas el cv. Himeca 95 sobre Pioneer 3031.

Las semillas de mayor tamaño produjeron plántulas con un mejor crecimiento vegetativo que aquellas provenientes de semillas pequeñas bajo condiciones de humedad adecuada, pero el tamaño de la semilla no afectó el crecimiento de plántulas bajo condiciones de sequía.

LITERATURA CITADA

- DE SANTA OLALLA, M. F.; DE JUAN VALERO, J. A. 1993.** Agronomía del Riego. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 127-221.
- EDMEADES, G. O.; BOLAÑOS, J.; LAFITTE, H. R. 1992.** Progress in breeding for drought tolerance in maize. In D. Wilkinson, ed. *Proc. 47th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf.*, Chicago, Illinois, Dec. 1992. Washington, DC, ASTA. p. 93-111.
- EL-KEBLAWY, A. 2004.** Salinity effects on seed germination of the common desert range grass, *Panicum turgidum*. *Seed Sci Tech.* 32 (3):943-948.
- ELLIS, R. H.; ROBERTS, E. H. 1980.** Towards a national basis for testing seed quality. In *Seed production*. Hebblethwaite. pp. 605-635.
- HAYWARD, H. E.; BLAIR W. M.. 1942.** Algunas respuestas de naranjos valencianos jóvenes a concentraciones variables de cloruro e iones de hidrógeno. *Amer J. Bot.* 29:148-155.
- HU, Y., FRICKE, W.; SCHMIDHALTER U. 2005.** Salinity and the growth of non-halophyte grass leaves: the role of mineral nutrient distribution. *Funct. Plant Biol.* 32:973-985.
- KRAMER, P. J. 1989.** Relaciones Hídricas de Suelos y Plantas. Harla. México. pp. 234-240.
- LARSEN, S. U.; ANDREASEN, C. 2004.** Light and heavy turfgrass seeds differ in germination percentage and mean germination thermal time. *Crop Sci.* 44:1710-1720.
- MARTÍNEZ A., L. E. 1999.** 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 optar al Título de M. Sc. en agricultura Tropical Mención Producción Vegetal. Postgrado en Agricultura Tropical. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas. Venezuela. 86 p.
- MÉNDEZ N., J. R.; IBARRA P., F. T.; MERAZO P., J. F. 2002a.** Germinación de semillas y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.) bajo soluciones osmóticas III. Glucosa. VI Festival del Maíz. VI Jornada Científica Nacional del Maíz. Del 20 al 23 de noviembre del 2002. Maracay, Estado Aragua. On line: [www. Trabajos\carteles\tecnosemilla\jmendezglucosa.htm](http://www.Trabajos\carteles\tecnosemilla\jmendezglucosa.htm). (10 agosto 2003).
- MÉNDEZ N., J. R.; IBARRA P., F. T.; MERAZO P., J. F. 2002b.** Germinación de semillas y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.) bajo soluciones osmóticas IV. Manitol. VI Festival del Maíz. VI Jornada Científica Nacional del Maíz. Del 20 al 23 de noviembre del 2002. Maracay, Estado Aragua. On line: [www. Trabajos\carteles\tecnosemilla\jmendezmanitol.htm](http://www.Trabajos\carteles\tecnosemilla\jmendezmanitol.htm). (10 agosto 2003).
- MÉNDEZ N., J. R.; IBARRA P., F. T.; MERAZO P., J. F. 2002c.** Germinación de semillas y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.) bajo soluciones osmóticas V. Polietilene glicol. VI Festival del Maíz. VI Jornada Científica Nacional del Maíz. Del 20 al 23 de noviembre del 2002. Maracay, Estado Aragua. On line: [www. Trabajos\carteles\tecnosemilla\jmendezpeg.htm](http://www.Trabajos\carteles\tecnosemilla\jmendezpeg.htm). (10 agosto 2003).
- MILLÁN, A. J.; MALAVÉ, E. 1991.** Informe Anual 1990. FONAIAP. Estación Experimental Monagas. Maturín, Venezuela. pp. 10-76.
- MUCHENA, S. C.; GROGAN, C. O. 1977.** Effects of seed size on germination of corn (*Zea mays*) under simulated water stress conditions. *Can. J. Plant. Sci.* 57:921-923.
- MUSGROVE, M. E.; PRIESTLEY, D. A.; LEOPOLDO, A. C. 1980.** Methanol stress as a test of seed vigor. *Crop Sci.* 20 (5):626-630.
- MWAI, G.; ONYANGO, J.; and ONYANGO, M. 2004.** Effect of salinity on growth and leaf yield of spiderplant (*Cleome gynandra* L.) (en línea) AJFAND 4(2). Disponible en: <http://www.ajol.info/viewarticle.php?id=19849>. (Consulta: 15 de febrero de 2006).
- NEUMANN, P. 1997.** Salinity resistance and plant growth revisited. *Plant Cell Env.* 20:1193-1196.
- PARSONS, L. 1991.** Respuestas de la planta a la deficiencia de agua. In *Mejoramiento de Plantas en Ambientes poco Favorables*. Limusa. Balderas 95, México. pp. 211-231.
- PEÑALOZA P.; RAMIREZ-ROSALES, G.; MCDONALD, M.; BENNETT, M. 2005.** Lettuce (*Lactuca sativa* L.) seed quality evaluation using seed physical attributes, saturated salt accelerated aging and the seed vigour imaging system. *Elec. J. Biotech.* (en línea) 8(3) :299-307. Disponible en: www.ejbiotechnology.info/content/vol8/issue3/full/11/ (Consulta: 11 de marzo de 2006).
- PRADO, F. E.; BOERO, C.; GALLARDO, M.; GONZÁLEZ, J. A. 2000.** Effect of NaCl on germination, growth, and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. seeds. *Bot. Bull Acad. Sin.* 41:27-34.
- SALISBURY, F.; ROSS, C. 1992.** Fisiología de las Plantas. Thomson Learning. España. pp. 69-70.
- SOLTANI, A.; GALESHI, S.; ZEINALI, E.; LATIFI, N. 2002.** Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Sci. Tech.* 30:51-60.
- VASUDEVAN, V.; BALASUBRAMANIAN, V. 1965.** Germination in osmotic solutions an index of drought resistance in sorghum Madras Agri. J. 52:386-390.
- WILLENBORG, C.; WILDEMAN, J. C.; MILLER, A. K.; ROSSNAGEL, B.G.; SHIRTLIFFE S. 2005.** Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes, and osmotic potentials. *Crop Sci.* 95:2023-2029.
- WONG R., L. A. 2002.** 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 presentado para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas. Venezuela. pp. 14-94.
- ZHONGJIN, L.; NEUMANN, P. M. 1999.** Water stress inhibits hydraulic conductance and leaf growth in rice seedlings but not the transport of water via mercury-sensitive water channels in the root. *Plant Physiol.* 120(1):143-152.