

GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ (ZEA MAYS) BAJO ESTRÉS HÍDRICO SIMULADO

JOSÉ A. LAYNEZ-GARSABALL, JESÚS RAFAEL MÉNDEZ-NATERA
Y JULIANA MAYZ-FIGUEROA¹

*Escuela de Ingeniería Agronómica, Núcleo Monagas, Universidad de Oriente,
Avenida Universidad, Campus Los Guaritos, Maturín 6201, Monagas, Venezuela
jalaynezg@yahoo.es; jmendezn@cantv.net*

¹*Postgrado en Agricultura Tropical, Núcleo Monagas, Universidad de Oriente,
Campus Juanico, Maturín 6201, Monagas, Venezuela
julianamayz@cantv.net*

Resumen. La sequía retrasa y hasta puede inhibir la germinación de las semillas y por tanto disminuir la densidad de población óptima de un cultivo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la germinación de semillas de diferentes tamaños de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.) bajo tres potenciales hídricos utilizando soluciones osmóticas preparadas con sacarosa. La siembra se efectuó en bandejas de aluminio, empleando 10 kg de arena/bandeja y 50 semillas. El diseño estadístico correspondió al de parcelas divididas con cuatro repeticiones, y la parcela principal correspondió a los potenciales osmóticos (0,0; -0,6 y -1,2 MPa), las subparcelas fueron los dos cultivares de maíz (Himeca 95 y Pioneer 3031) y las sub-subparcelas los tres tamaños de semillas ($< 0,32$ g; $\geq 0,32$ – $0,36 \leq$ g, y $> 0,36$ g.). Se aplicó el análisis de varianza, y los datos del porcentaje de germinación se transformaron mediante la fórmula $\sqrt{x}$. Las diferencias entre los promedios se establecieron a través de la prueba de rangos múltiples de Duncan al 5% de probabilidad. Las variables evaluadas porcentaje de germinación e índice de velocidad de germinación disminuyeron con un descenso de los potenciales osmóticos, mientras que el número medio de días a germinación se incrementó. En el proceso de germinación se pudo notar diferencias entre cultivares debido al efecto del estrés hídrico, y se pudo discriminar entre los genotipos a potenciales osmóticos de -0,6 y -1,2 MPa creados con sacarosa donde Pioneer 3031 fue más tolerante que Himeca 95. El tamaño de la semilla no influyó en el proceso de germinación. *Recibido: 02 mayo 2006, aceptado: 27 abril 2007.*

Palabras clave: maíz, *Zea mays*, germinación, estrés hídrico, tamaño de la semilla, tolerancia a la sequía.

GERMINATION OF CORN SEEDS (*ZEa MAYS*) UNDER SIMULATED WATER STRESS

Abstract. Droughts delay and may even inhibit seed germination and, therefore, decrease optimum crop population density. We evaluated germination in seeds of different sizes, in two corn cultivars (*Zea mays* L.), under three water stress conditions, using osmotic solutions prepared with sucrose. 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 the sub-subplots were three seed sizes (< 0.32 g; $\geq 0.32-0.36$ g $\leq$ and > 0.36 g). An analysis of variance was used, and germination percentage data were transformed using $\sqrt{x}$. Differences among means were tested by Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$). Both percent germination and germination rate index decreased with diminished osmotic potentials, while the mean number of days to total germination increased. During germination, differences were observed between cultivars, due to water stress. It was possible to discriminate between genotypes at osmotic potentials of -0.6 and -1.2 MPa created with sucrose; Pioneer 3031 was more tolerant than Himeca 95. Seed size did not affect germination. *Received: 02 May 2006, accepted: 27 April 2007.*

Key words: Corn, *Zea mays*, germination, water stress, seed size, drought tolerance.

INTRODUCCIÓN

Las regiones tropicales y subtropicales son comúnmente afectadas por variaciones climáticas marcadas, caracterizadas por periodos frecuentes de sequía o de lluvias distribuidas irregularmente, ocasionando pérdidas considerables en las cosechas. Los efectos de la sequía son exacerbados por varios factores, incluyendo baja fertilidad natural del suelo, prácticas ineficientes de manejo y estrés bióticos (San Vicente *et al.* 1999). En condiciones naturales las plantas están frecuentemente expuestas a estrés ambiental. El estrés es generalmente definido como un factor externo que produce un efecto negativo sobre la fisiología de la planta, aunque en muchos casos se ha demostrado que las plantas en algunas condiciones de estrés activan centros hormonales o inducen el crecimiento de las yemas florales. Se pueden distinguir dos tipos de estrés: los originados por factores bióticos (los que ejercen un conjunto de

especies sobre otras) y los originados por factores abióticos (factores climáticos y del suelo que afectan negativamente a la planta). De los dos tipos, el estrés que causa mayor efecto, es el estrés hídrico en las plantas.

La sequía agrícola genera impacto en el rendimiento de los cultivos; a nivel de los trópicos, afecta la producción en casi un 60% de las tierras. En el cultivo del maíz, las pérdidas debido a la sequía en los trópicos pueden alcanzar 24 millones de toneladas por año, el equivalente a 17% de la producción (Edmeades *et al.* 1992).

La sequía del suelo reduce el rendimiento de los cultivos, por ello los especialistas en el mejoramiento genético de plantas, buscan desarrollar e identificar cultivares que sean más tolerantes al estrés hídrico. La sequía y el incremento mundial en el uso del agua, ha creado limitaciones para cultivos tolerantes estas condiciones. Las plantas que usan el agua más eficientemente pueden producir elevados rendimientos en ambientes limitados hídricamente. La germinación de la semilla es un punto crítico en el establecimiento de las plántulas, éstas pueden ser más susceptibles que las plantas debido a la exposición a un ambiente dinámico cerca de la superficie del suelo (Dodd y Donovan 1999, Richards 2005).

Las pruebas de calidad de semillas permiten predecir la vida de almacenamiento de un lote o su calidad después de un período específico de tiempo. También sirven para pronosticar la emergencia en campo después de la siembra, el subsiguiente vigor de las plántulas, y el rendimiento final del cultivo (Ellis y Roberts 1980). La técnica de envejecimiento acelerado es la más usada para el logro de los objetivos anteriormente citados, aunque no es totalmente confiable debido a que no está estandarizada (Musgrove *et al.* 1980). Esta situación ocasiona que pequeñas diferencias en el tratamiento de envejecimiento usado traigan como resultado que se observen variaciones en el vigor. Una alternativa sencilla, para la identificación de semillas de buena calidad y al mismo tiempo para el estudio del efecto del estrés hídrico, pudiera ser el empleo de compuestos o productos comerciales como manitol, glucosa y polietileno glicol, para ensayar el estrés hídrico bajo condiciones de laboratorio (Martínez 1999, Wong 2002, Méndez *et al.* 2002a, b, c).

Los trabajos con semillas de diversas especies se han conducido bajo condiciones de deficiencia hídrica con el objetivo de determinar el vigor en condiciones de estrés hídrico, por lo tanto, se han utilizado diversas soluciones osmóticas para simular un ambiente con humedad reducida, dentro de estas se pueden citar polietileno glicol, manitol, CaCl_2 , KCl y NaCl (Machado-Neto *et*

al. 2006). Estas técnicas se basan en la premisa de que la planta desarrollada a partir 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 otra parte, las condiciones que las semillas encuentran para la germinación, algunas veces son adversas, el potencial osmótico de soluciones salinas o azucaradas puede presentar valores más negativos de aquellos presentados por las células del embrión, por lo tanto, se dificulta, la absorción del agua necesaria para la germinación. La disminución de la germinación de las semillas sometidas a estrés hídrico se atribuye a una reducción de las actividades enzimáticas (Machado-Neto *et al.* 2006).

El tamaño de la semilla se considera como un indicador de la calidad fisiológica, debido a que las semillas más grandes o de mayor peso, muestran mejor germinación y vigor (Aguiar 1995). Se estima que la abundancia de reservas en las semillas aseguraría un periodo más extendido de establecimiento en el nuevo ambiente, y por tanto los tamaños de semilla y plántula estarían normalmente correlacionadas (Hellum 2000). De acuerdo con Carvalho y Nakagawa (1983), las semillas de mayor tamaño generalmente, se nutren mejor durante su desarrollo, presentando embriones bien formados y con mayor cantidad de sustancias de reserva, siendo consecuentemente las más vigorosas.

Por otro lado, las investigaciones sobre el efecto del estrés por sequía en los genotipos del maíz 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 en la tolerancia a estas condiciones. 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 en los primeros días de crecimiento de las plántulas (Muchena y Grogan 1977).

En Venezuela, el maíz (*Zea mays* L.), constituye un producto principal de la dieta básica y de consumo masivo en diversas preparaciones. Se cultiva en casi todo el territorio nacional, desde las zonas bajas a nivel del mar, hasta las terrazas y planicies de las zonas altas (Salazar 1990) por lo que su desarrollo puede estar inmerso en ambientes adversos, como el caso del estrés hídrico. En consecuencia, es conveniente realizar investigaciones que permitan identificar genotipos de maíz tolerantes y/o resistentes a tales condiciones de estrés. El objetivo de este trabajo es evaluar la germinación de tres tamaños diferentes de semilla de dos cultivares de maíz sometidos a tres potenciales hídricos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La fase experimental se realizó en el umbráculo del Postgrado en Agricultura Tropical de la Universidad de Oriente, Maturín, estado Monagas, Venezuela, ubicada geográficamente entre los 10° 44' de LN y 63° LW, a una altitud 90 msnm.

SUSTRATO Y SOLUCIONES OSMÓTICAS

Se utilizó arena lavada de río no esterilizada, secada al aire libre, y cernida por medio de un tamiz de malla de 3 mm. Se realizaron riegos diarios (250 mL/bandeja) empleando soluciones osmóticas preparadas con sacarosa 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).

CULTIVARES, CRIBAJE DE LA SEMILLA

Se utilizaron semillas certificadas de los cultivares comerciales de maíz: Himeca 95 y Pionner 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. Se sometieron dos kg de semillas de cada cultivar a un proceso de selección para separarlas con base al peso individual, en tres intervalos de peso, en lotes de 300 semillas: $< 0,32$ g, $\geq 0,32$ g– $0,36$ g, y $> 0,36$ g.

SIEMBRA

Se emplearon bandejas de aluminio de 10,87 litros de capacidad (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. A cada bandeja se le colocaron 10 kg. de arena y 50 semillas dispuestas 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 4,0 cm) y a 3,0 cm de profundidad. Se efectuaron riegos diarios de 250 mL agua/bandeja.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se empleo el diseño estadístico de parcelas divididas con cuatro 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 sub-subparcelas, los tres tamaños de semillas ($< 0,32$ g; $\geq 0,32-0,36 \leq$ g y $> 0,36$ g).

Los resultados de los parámetros evaluados se analizaron mediante el análisis de varianza. Los datos del porcentaje de germinación se transformaron mediante la fórmula $\sqrt{X}$. Las diferencias entre las medias se establecieron a través de la prueba de rangos múltiples de Duncan, al 5% de probabilidad.

Las respuestas de los cultivares de maíz, a los distintos tratamientos, se evaluaron a través de las siguientes variables:

1) Porcentaje de germinación: a los 4, 8, 12 y 16 días después de la siembra (dds),

2) Índice de velocidad de germinación (IVG): estimado a través de la fórmula: $IVG = [(N_1 \times 4 + N_2 \times 4 + \dots + N_n \times T_n)/T_n]$ (Khan y Ungar 1984) y

3) Número medio de días a germinación (NMDG): determinado por la fórmula: $NMDG = [(N_1 \times T_1 + N_2 \times T_2 + \dots + N_n \times T_n)/n]$ (Hartmann *et al.* 1993),

N = número de semillas germinadas dentro de los intervalos de tiempo consecutivos, T = tiempo transcurrido entre el inicio de la prueba y el fin del intervalo, y n = número total de semillas germinadas.

RESULTADOS

PORCENTAJE DE GERMINACIÓN

Los análisis de varianza para la germinación (%) a los 4, y 8, 12 y 16 días (Tabla 1) señalaron un efecto significativo para los factores simples potencial osmótico y cultivar de maíz, y para la interacción potencial osmótico x cultivar a los 4 días. La interacción potencial osmótico x cultivar, a los 4 días (Tabla 2), evidenció la menor germinación (con respecto al potencial osmótico) en ambos cultivares a -1,2 Mpa, y la mayor germinación para Himeca 95 a 0 MPa y para Pioneer 3031 a 0 y -0,6 MPa. Por otra parte, al analizar la germinación (%) entre cultivares, a un mismo potencial osmótico, Pioneer 3031 exhibió los mayores valores, en comparación con Himeca 95, a excepción del potencial de 0 Mpa, donde ambos cultivares tuvieron una germinación similar. La germinación a los 8 días fue 98,5%. Este mismo porcentaje se obtuvo a los 12 y 16 días.

Tabla 1. Análisis de varianza para el porcentaje de germinación de semillas a los 4, 8 12 y 16 días después de la siembra (días) de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays*), sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa. Datos transformados mediante $\sqrt{x}$.

Fuente de variación	Gl	Cuadrados medios para % de germinación (días)			
		4	8	12	16
Repetición	3	0,086 ns	0,008 ns	0,008 ns	0,008 ns
Potencial osmótico (P)	2	10,618 *	0,064 ns	0,064 ns	0,064 ns
Error (a)	6	0,119	0,014	0,014	0,014
Cultivar de Maíz (C)	1	8,557 *	0,005 ns	0,005 ns	0,005 ns
P x C	2	1,769 *	0,012 ns	0,012 ns	0,012 ns
Error (b)	9	0,130	0,018	0,018	0,018
Tamaño de Semilla (T)	2	0,565 ns	0,016 ns	0,016 ns	0,016 ns
P x T	4	0,067 ns	0,020 ns	0,020 ns	0,020 ns
C x T	2	0,067 ns	0,012 ns	0,012 ns	0,012 ns
P x C x T	4	0,103 ns	0,006 ns	0,006 ns	0,006 ns
Error (c)	36	0,260	0,017	0,017	0,017
Total:	71				
CV (a) (%)		3,80	1,20	1,20	1,20
CV (b) (%)		3,97	1,36	1,36	1,36
CV (c) (%)		5,61	1,32	1,32	1,32

Gl = grados de libertad, *significativo ($P \leq 0,05$), ns = no significativo ($P > 0,05$).

ÍNDICE DE VELOCIDAD DE GERMINACIÓN (IVG)

En el análisis de varianza para el índice de velocidad de germinación (Tabla 3) se observaron diferencias significativas para los efectos simples potencial osmótico y cultivar de maíz y para la interacción potencial osmótico x cultivar.

Al analizar la interacción potencial osmótico x cultivar (Tabla 4), se observó que el IVG en el cultivar Himeca 95 decrece con el incremento del potencial osmótico, mientras que en el cultivar Pioneer 3031 no se observó

Tabla 2. Promedios para el porcentaje de germinación cuatro días después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays*) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa.

Potenciales Osmóticas (MPa)	Porcentaje de germinación ¹	
	Cultivares	
	Himeca 95	Pioneer 3031
0	91,16 Aa	95,94 Aa
-0,6	80,46 Bb	91,60 Aa
-1,2	59,57 Cb	80,80 Ba

¹Prueba 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.

Tabla 3. Análisis de varianza del índice de velocidad de germinación (IVG) y número medio de días a total germinación (NMDTG), después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays*), sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa.

Fuente de variación	Gl	Cuadrados medios	
		IVG	NMDTG
Repetición	3	0,630 ns	0,001 ns
Potencial osmótico (P)	2	57,878 *	0,749 *
Error (a)	6	0,689	0,059
Cultivar de Maíz (C)	1	42,014 *	2,390 *
P x C	2	6,774 *	0,024 ns
Error (b)	9	0,752	0,049
Tamaño de Semilla (T)	2	3,816 ns	0,064 ns
P x T	4	0,139 ns	0,003 ns
C x T	2	0,358 ns	0,022 ns
P x C x T	4	0,334 ns	0,022 ns
Error (c)	36	1,475	0,021
Total:	71		
CV (a) (%)		3,65	6,05
CV (b) (%)		3,81	5,51
CV (c) (%)		5,34	3,61

Gl = grados de libertad, *significativo ($P \leq 0,05$), ns = no significativo ($P > 0,05$).

Tabla 4. Promedios para el índice de la velocidad de germinación después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays*) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa.

Potenciales Osmóticas (MPa)	Índice de velocidad de germinación ¹	
	Cultivares	
	Himeca 95	Pioneer 3031
0	23,88 Aa	24,33 Aa
-0,6	22,25 Bb	23,79 Aa
-1,2	19,75 Cb	22,33 Ba

¹Prueba 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.

variación significativa entre el potencial osmótico de -0,6 MPa y el testigo, pero si entre los potenciales osmóticos -0,6 y -1,2 MPa. Al comparar los cultivares, para un mismo potencial, no se detectaron diferencias entre éstos para el testigo ($\psi_{os} = 0$ MPa), pero sí para los potenciales osmóticos de -0,6 y -1,2 MPa.

NÚMERO MEDIO DE DÍAS A GERMINACIÓN (NMDG)

El análisis de varianza para el número medio de días a total germinación (Tabla 3) indicó significación para los factores potencial osmótico y cultivar de maíz. En la prueba de separación de medias para el factor potencial osmótico (Tabla 5) los menores NMD a total germinación se obtuvieron para los potenciales osmóticos de 0 y -0,6 MPa, similares entre sí, e inferiores al NMD a total germinación para el potencial osmótico de -1,2 MPa. En la prueba de separación de promedios para el factor cultivares (Tabla 6), el menor NMD a germinación total correspondió a Pioneer 3031.

DISCUSIÓN

Durante esta investigación se observaron interacciones potencial osmótico x cultivar (Tablas 1–4) que pudieran permitir discriminar entre cultivares de maíz para la tolerancia a la sequía, en cuanto a germinación, empleando soluciones de sacarosa con potenciales osmóticos iguales a -0,6 MPa, mientras que no se encontró una interacción significativa entre el potencial osmótico y el tamaño de la semilla. Estos resultados coinciden con los reportados por Main y Nafzinger (1994), quienes trabajando con trigo de invierno, encontraron que no hubo una interacción entre el tamaño de la semilla y el estrés hídrico con respecto a la germinación.

Tabla 5. Promedios para el número medio de días a total germinación después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays*) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa. Efecto de los potenciales osmóticos.

Potenciales osmóticos (MPa)	Número medio de días a total germinación ¹
0	3,9 A
-0,6	4,0 A
-1,2	4,2 B

¹Prueba de rangos múltiples de Duncan ($P \leq 0,05$). Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

Tabla 6. Promedios para el número medio de días a total germinación después de la siembra de tres tamaños de semilla de dos cultivares de maíz (*Zea mays*) sembrados en arena y regados con tres soluciones osmóticas de sacarosa. Efecto de los cultivares.

Cultivares	Número medio de días a total germinación ¹
Pioneer 30310	3,9 A
Himeca 95	4,2 B

¹Prueba de rangos múltiples de Duncan ($P \leq 0,05$). Letras diferentes indican promedios estadísticamente diferentes.

Se observó, en general, una disminución en los porcentajes de germinación por efecto del incremento del estrés hídrico (Tabla 2). Méndez *et al.* (2002a), demostraron el efecto de la glucosa en cinco potenciales osmóticos (0, -3, -6, -9 y -1,2 bares) sobre los cultivares comerciales de maíz Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031, y observaron que las reducciones en el potencial osmótico causaron una disminución de la germinación, a excepción del % de germinación a -3 bares. Asimismo, Méndez *et al.* (2002c) evaluaron el efecto de soluciones osmóticas de polietilene glicol en tres cultivares de maíz (Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031) y encontraron que a potenciales osmóticos de -9 y -12 bares ocurrió una inhibición total de la germinación de las semillas, mientras que el resto de los potenciales evaluados causaron una disminución de este parámetro.

Por otra parte, Méndez *et al.* (2002b), estudiando el efecto de soluciones osmóticas de manitol en la germinación de los cultivares de maíz Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031, apreciaron que, en general, las reducciones en

los potenciales osmóticos causaron una disminución de la germinación, excepto a -3 bares, donde el % de germinación fue superior al del control.

En el presente estudio, los potenciales hídricos ensayados (-0,6 y -1,2 MPa) se ubicaron por encima del mínimo requerido para la germinación de las semillas de maíz. Hunter y Erickson (1952), usando cinco tipos texturales de suelo, determinaron que los potenciales hídricos mínimos para la germinación de las semillas de maíz, soya, arroz y remolacha azucarera fueron -12,5; -6,6; -7,9 y -3,5 atm, respectivamente. Las diferencias observadas entre las especies podrían atribuirse a que las fuerzas osmóticas internas son distintas para la imbibición del agua.

Las diferencias en la germinación entre los cultivares de maíz por efecto de estrés hídrico creado con soluciones osmotizantes se han señalado por Martínez (1999), quien observó en condiciones de laboratorio mayores porcentajes de germinación del cultivar Cargill 717 sobre Cargill 633 en potenciales osmóticos de -0,03 y -0,5 MPa. Por otro lado, Méndez *et al.* (2002c), evaluaron el efecto de soluciones de polietileno glicol en los cultivares de maíz Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031, y encontraron que la mayor germinación ocurrió en las semillas del cv. Cargill 633, mientras que las semillas de Himeca 2003 y Pioneer 3031 germinaron de forma similar.

Gazanchian *et al.* (2006) evaluaron la emergencia de plántulas de gramíneas de 15 especies de siete géneros: *Elymus*, *Agropyron*, *Secale*, *Hordeum*, *Bromus*, *Festuca* y *Dactylis* bajo cuatro potenciales mátricos del suelo: -0,03; -0,2; -0,6 y -1,5 MPa. En la investigación los autores concluyeron que existió una gran variabilidad genética para la emergencia entre y dentro de especies a diferentes niveles de humedad del suelo y que el método utilizado logró separar poblaciones tolerantes a una baja humedad del suelo de aquellas poblaciones susceptibles a esta condición.

El tamaño de la semilla (Tablas 1 y 3) no afectó al proceso de germinación en las condiciones de estrés hídrico. En este estudio no se presentó influencia del tamaño de la semilla en la germinación por efecto del potencial osmótico. Sin embargo, otros investigadores evidenciaron que al aplicar potenciales osmóticos mayores a los empleados señalan que las semillas de menor tamaño presentaron un comportamiento diferente respecto a las de mayor tamaño en tal condición. Muchena y Grogan (1977), quienes estudiaron el efecto del tamaño de la semilla del cultivar White Cloud (cotufero), y las líneas R181 y Ay499 sobre la germinación del maíz bajo condiciones simuladas de estrés de agua, usando distintas concentraciones de

manitol (0; -10; -14 y -18 atm), comprobaron que la germinación de la semillas pequeñas y medianas de White Cloud fue significativamente más alta que la de las semillas grandes a -14 atm y -18 atm, pero no a 0 y -10 atm. Esto sugiere que la germinación de las semillas pequeñas bajo condiciones de estrés hídrico se incrementa cuando el potencial del agua del medio disminuye.

Los resultados sobre la influencia del tamaño de la semilla sobre los caracteres de la germinación en maíz y en otras especies vegetales son contradictorios. George *et al.* (2003) cultivaron el híbrido superdulce de maíz, Pacific H5 y determinaron que la semilla grande y mediana presentaron una mayor germinación debido a la mayor reserva de almacenamiento. Sin embargo, Paz *et al.* (1999) determinaron los efectos del peso de la semilla sobre la emergencia y la velocidad de emergencia a nivel de invernadero y bajo condiciones de campo en siete especies forestales leñosas de *Psychotria*. En dos especies, el peso de la semilla tuvo un efecto positivo sobre la emergencia, mientras en otra fue negativo. En el invernadero, el peso de la semilla no afectó ni la emergencia ni su velocidad de alta o baja luminosidad. El peso de la semilla no mostró un efecto general sobre el éxito de la emergencia, por lo que sus efectos sobre las plántulas son ocasionados más por factores ecológicos externos que por los intrínsecos del peso de la semilla. Busso *et al.* (2005) trabajando con la planta artemisa (*Artemisia tridentata* ssp. *wyomingensis* Beetle y Young) en un estudio de dos años en dos localidades demostraron que los porcentajes de germinación y los coeficientes de velocidad de germinación estuvieron positivamente relacionados con el peso de la semilla.

CONCLUSIONES

Se sugiere el uso de potenciales osmóticos de -0,6 y -1,2 MPa de sacarosa para la diferenciación de la tolerancia al estrés hídrico de cultivares de maíz a nivel de germinación.

Las semillas del cultivar Pioneer 3031 presentaron más germinación que el cultivar Himeca 95.

El tamaño de la semilla no fue determinante en el proceso de germinación bajo ninguna de las condiciones de estrés estudiadas.

LITERATURA CITADA

- AGUIAR, I. B. DE. 1995. Conservação de Sementes. Manual técnico de sementes florestais. 14: 33–44. I.F. Série Registros, São Paulo.
- BUSO, C. A., M. MAZZOLA Y B. L. PERRYMAN. 2005. Seed germination and viability of Wyoming sagebrush in northern Nevada. *Interciencia* 30: 631–637.
- CARVALHO, N. M. Y J. NAKAGAWA. 1983. Sementes: Ciência, tecnologia e produção. Campinas: Fundação Cargill, 429 pp.
- DODD, G. L. Y L. A. DONOVAN. 1999. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. *Am. J. Bot.* 86: 1146–1153.
- EDMEADES, G. O., J. BOLAÑOS Y H. R. LAFITTE. 1992. Progress in breeding for drought tolerance in maize. Pp. 93–111, *en* D. Wilkinson (ed.), Proc. 47th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf., Diciembre 1992, Chicago, Illinois, USA.
- ELLIS, R. H. Y E. H. ROBERTS. 1980. Toward a national basis for testing seed quality. Pp. 605–635, *en* P. D. Hebblethwaite (ed.), Seed production. Butterworth & Co Publishers, London, UK.
- GAZANCHIAN, A., N. A. KHOSH-KHOLGH-SIMA, M. A. MALBOOBI Y E. MAJIDI-HERAVAN. 2006. Relationships between emergence and soil water content for perennial cool-season grasses native to Iran. *Crop Sci.* 46: 544–553.
- GEORGE, D. L., M. L. GUPTA, D. TAY E I. G. M. A. PARWATA. 2003. Influence of planting date, method of handling and seed size on supersweet corn seed quality. *Seed Sci. Technol.* 31: 351–366.
- HARTMANN, H. T., D. E. KESTER Y F. T. DAVIES. 1993. Plant propagation principles and practices (5 ed.). Prentice-Hall, New Delhi, India, 647 pp.
- HELLUM, A. K., 2000. Grading seed by weight in white spruce. Pp. 307–328, *en* K. Olesen (ed.), Guide to handling of tropical and subtropical forest seed. Danida Forest Seed Centre, Denmark.
- HUNTER, J. R. Y A. E. ERICKSON. 1952. Relation of seed germination to soil moisture tension. *Agron. J.* 44: 107–109.
- KHAN, M. E I. UNGAR. 1984. The effect of salinity and temperature on the germination of polymorphic seeds and growth of *Atriplex triangularis* Willd. *Am. J. Bot.* 71: 481–489.
- MACHADO-NETO, N. B., C. CASTILHO-CUSTÓDIO, P. R. COSTA Y F. L. DONÁ. 2006. Deficiência hídrica induzida por diferentes agentes osmóticos na germinação e vigor de sementes de feijão. *Revista Brasileira de Sementes* 28: 142–148.
- MAIN, A. R. Y E. D. NAFZIGER. 1994. Seed size and water potential effects on germination and seedling growth of winter wheat. *Crop Sci.* 34: 169–171.
- 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. Tesis de Maestría, Postgrado en Agricultura Tropical, Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Venezuela, 86 pp.
- MÉNDEZ-N., J. R., F. T. IBARRA-P. Y J. F. MERAZO-P. 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, 20 al 23 de noviembre del 2002, Maracay, estado Aragua [on line]: <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/Congresos/jornadas%20de%20maiz/6%20jornadas/carteles/tecnosemilla/jmendezglucosa.htm> (revisado el 08 de marzo de 2007).
- MÉNDEZ-N., J. R., F. T. IBARRA-P. Y J. F. MERAZO-P. 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, 20 al 23 de noviembre del 2002, Maracay, estado Aragua [on line]: <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/Congresos/jornadas%20de%20maiz/6%20jornadas/carteles/tecnosemilla/jmendezmanitol.htm> (revisado el 08 de marzo de 2007).
- MÉNDEZ-N., J. R., F. T. IBARRA-P. Y J. F. MERAZO-P. 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, 20 al 23 de noviembre del 2002, Maracay, estado Aragua [on line]: <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/Congresos/jornadas%20de%20maiz/6%20jornadas/carteles/tecnosemilla/jmendezpeg.htm> (revisado el 08 de marzo de 2007).
- MUCHENA, S. C. Y C. O. GROGAN. 1977. Effects of seed size on germination of corn (*Zea mays*) under simulated water stress conditions. *Canadian J. Plant Science* 57: 921–923.
- MUSGROVE, M. E., D. A. PRIESTLEY Y A. C. LEOPOLDO. 1980. Methanol stress as a test of seed vigor. *Crop Sci.* 20: 626–630.
- PAZ, H., S. J. MAZER Y M. MARTÍNEZ-RAMOSA. 1999. Seed mass, seedling emergence, and environmental factors in seven rain forest *Psychotria* (Rubiaceae). *Ecology* 80: 1594–1606.
- RICHARDS, R. 2005. Effects of ionic and osmotic stress on lettuce, radish and crested wheatgrass. Final Project Report of Plant Nutrition, Crop Physiology Laboratory, Utah State University, 10 pp.
- SALAZAR, P. 1990. El cultivo de maíz en el Estado Trujillo. FONAIAP Divulga 33(1): 27–30.
- SALISBURY, F. Y C. ROSS. 1992. Fisiología de las plantas. Thompson Learning, Madrid, España. pp. 69–70.
- SAN VICENTE, F., S. KUMAR-VASAL, S. D. MCLEAN, S. KUMAR-RAMANUJAM Y M. BARANDIARAN. 1999. Comportamiento de líneas tropicales precoces de maíz en condiciones de sequía. *Agronomía Trop.* 49: 135–154.
- VASUDEVAN, V. Y V. BALASUBRAMANIAN. 1965. Germination in osmotic solutions an index of drought resistance in sorghum. *Madras Agri. J.* 52: 386–390.
- 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 Especial de Grado, Núcleo Monagas, Universidad de Oriente, Maturín, Monagas, Venezuela, pp. 14–94.