

## EFFECTO DEL POTENCIAL OSMÓTICO 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-Garsaball<sup>1</sup>, Jesús Rafael Méndez-Natera<sup>1</sup>  
y Juliana Mayz-Figueroa<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>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

### RESUMEN

Se estudió la germinación y el crecimiento de plántulas a partir de tres tamaños de semilla, de dos cultivares de maíz, usando como sustrato papel absorbente y regados con tres soluciones osmóticas preparadas con sacarosa. El diseño estadístico fue el de parcelas divididas con cuatro repeticiones, siendo la parcela principal los potenciales osmóticos (0.0; -0.6 y -1.2 MPa), las sub-parcelas los cultivares de maíz (Himeca 95 y Pioneer 3031) y las sub-sub-parcelas los tamaños de semillas ( $< 0.32$  g;  $\geq 0.32 - 0.36 \leq$  g y  $> 0.36$  g). Se usó un ANDEVA de tres factores y una prueba de Duncan con un nivel de significación del 5%. El potencial osmótico de -1.2 MPa causó una disminución de la germinación en Himeca 95 pero no en Pioneer 3031; en general, las reducciones en el potencial osmótico se debieron a las soluciones que causaron una disminución de todos los caracteres de las plántulas a excepción del peso de la radícula que fue mayor en el menor potencial osmótico. Fue posible significativamente discriminar, para la tolerancia al estrés hídrico en la etapa de germinación con potenciales osmóticos de -1.2 MPa, el cultivar Pioneer 3031 fue superior a Himeca 95 y en etapas tempranas del crecimiento (con potenciales osmóticos de -0.6 y -1.2 MPa), existe la ventaja en el empleo de semillas grandes, respecto a semillas más ligeras en peso.

**Palabras Clave:** Maíz, tamaño de semilla, estrés hídrico, sacarosa.

### ABSTRACT

Seed germination and seedling growth were studied from three seed sizes of two corn cultivars evaluated in absorbent paper and watered with three osmotic solutions created with sucrose. 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;  $\geq 0.32 - 0.36 \leq$  g y  $> 0.36$  g). An analysis of variance and Duncan's multiple range test were carried out. The inference level was 5%. The potential osmotic of -1.2 MPa caused a decreasing of germination in cv. Himeca 95, but cv. Pioneer 3031 was unaffected; in general, decreased osmotic potential of solutions produced a decreasing of all seedling traits excepting radicle weight which was heavier at -1.2 MPa. It was possible to discriminate in a significant way, for drought tolerance in germination stage with osmotic potentials of -1.2 MPa. The cultivar Pioneer 3031 which was more tolerant than Himeca 95 and in early growth stages (with osmotic potentials of -0.6 and -1.2 MPa) using big seeds, in relation to small seeds.

**Key Words:** Corn, water stress, seed size, sucrose.

## INTRODUCCIÓN

**L**as plantas experimentan un conjunto de situaciones desfavorables a las que se conoce con el nombre de estrés medioambiental. Atendiendo a la naturaleza del agente causante, el estrés medioambiental se puede clasificar en tres grupos: físicos, químicos y biológicos. Entre las formas de estrés físico (aunque quizás sería más adecuado denominarlos físico-químicos) se encuentra el déficit hídrico. El estrés hídrico es el más importante que puede afectar a las plantas, y especialmente, los cultivos. Se ha calculado que un tercio de la superficie que potencialmente se podría cultivar en nuestro planeta recibe un aporte de agua insuficiente para el desarrollo vegetal, mientras que en el resto la falta de agua reduce los rendimientos agrícolas en mayor o menor medida. Las pérdidas agrícolas ocasionadas por el estrés hídrico son superiores al conjunto de las producidas por los otros tipos de estrés, entre los que están el frío, el calor, la irradiación luminosa excesiva o insuficiente, la anaerobiosis por inundación y encharcamiento, el estrés mecánico (producido por el viento u otros) y el estrés químico producido por metales pesados, la salinidad (en su componente químico, los iones tóxicos), los contaminantes atmosféricos (ozono, SO<sub>2</sub>, etc.), los herbicidas y las carencias de determinados elementos químicos<sup>1</sup>. La sequía, a nivel de los trópicos, afecta la producción agrícola en casi un 60% de las tierras. En el cultivo del maíz, las sequías reducen los rendimientos hasta un 15% anualmente en las tierras bajas tropicales y subtropicales, con pérdidas estimadas en 16 millones de toneladas de grano<sup>2</sup>.

El cultivo del maíz (*Zea mays* L.) presenta gran importancia económica y social, que se desprende de la superficie sembrada y de la diversidad de usos como alimento para consumo humano: harina precocida principalmente, y el producto fresco o jojoto, así como concentrados para animales y forraje. Su cultivo se encuentra ampliamente distribuido en toda la geografía americana, quedando expuesto al estrés hídrico. En consecuencia, es conveniente realizar una investigación que permita identificar genotipos del maíz, tolerantes y/o resistentes al estrés.

Una prueba de la calidad de las semillas tiene tres objetivos relacionados entre sí: primero, predecir la vida de almacenamiento de un lote de semillas o su calidad después de un período específico; segundo, predecir la emergencia en campo después de la siembra y tercero, predecir el vigor de las plántulas y el rendimiento final del cultivo<sup>3</sup>. La técnica del envejecimiento acelerado, es la más usada para la determinación de la calidad de las semillas, sin embargo, requiere de equipos especializados lo que encarece y dificulta su realización, y además, el método no está estandarizado, por lo que las diferencias en humedad de la semilla, temperatura y duración del tratamiento<sup>4</sup> originan variaciones a nivel del vigor. Por otra parte, la cámara de envejecimiento acelerado no permite estudiar el efecto del estrés por sequía. Otro método para la identificación de semillas de calidad en diferentes lotes almacenados, y que al mismo tiempo

permite estudiar el efecto del estrés por sequía, de una manera sencilla, no costosa y sin requerir de equipos especializados, podría ser el uso de compuestos o productos comerciales para simular, bajo condiciones de laboratorio, el estrés hídrico, como: manitol, glucosa y polietilén glicol<sup>5-9</sup>. Estas técnicas se basan en la premisa 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<sup>10</sup>. Las investigaciones sobre el efecto del estrés por sequía en genotipos de maíz han encontrado variaciones en la germinación y en el crecimiento de las plántulas dentro de un mismo genotipo, considerando las diferencias como un producto del efecto del tamaño de la semilla<sup>11</sup>. Esto crea la expectativa de poder encontrar un tamaño de semilla de un cultivar que proporcione mayor tolerancia al estrés, durante la germinación o bien, durante los primeros días de crecimiento de las plántulas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del tamaño de la semilla de dos cultivares de maíz bajo condiciones de estrés hídrico preparadas con sacarosa para medir la germinación y crecimiento de las plántulas.

## 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 utilizó semilla certificada 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. Dos kilogramos de semillas de cada cultivar fueron sometidos a un proceso de selección por el que las semillas se separaron con base en el 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, sustrato, soluciones

Para la siembra se emplearon bandejas de aluminio (48.5 cm largo, 43.3 cm ancho y 0.8 cm alto) desinfectadas con cloro comercial (hipoclorito de sodio 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 papel mencionado. Se realizaron dos riegos diarios humedeciendo el papel de las bandejas mediante un aspersor manual con las soluciones que simulaban los potenciales osmóticos del suelo. Éstos se prepararon agregando una cantidad en gramos de sacarosa comercial en un litro de agua de acuerdo a la concentración molar requerida para obtener el potencial osmótico deseado: 0, -0.6 y -1.2 MPa, según la ecuación de J. H. van't Hoff<sup>12</sup>:  $\psi_{os} = -CiRT$ , donde:  $\psi_{os}$  = potencial osmótico; C = concentración de la solución, expresada como molaridad (moles

de soluto/kg de  $H_2O$ );  $i$  = constante que indica la ionización del soluto, para la sacarosa  $i = 1.0$ ;  $R$  = constante de los gases ( $0.0831 \text{ kg} \cdot \text{bar} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ), y  $T$  = temperatura absoluta (K), en nuestro caso  $K = 303$ .

### Diseño experimental, variables medidas, análisis estadístico

Se empleó el diseño estadístico de parcelas divididas con cuatro repeticiones, donde la parcela principal la conformaron los potenciales osmóticos (0 (Testigo), - 0.6 y - 1.2 MPa), las sub-parcelas, los dos cultivares de maíz (Himeca 95 y Pioneer 3031), y las sub-sub-parcelas, los tres tamaños de las semillas ( $< 0.32 \text{ g}$ ;  $\geq 0.32 - 0.36 \text{ g}$   $\leq \text{g}$   $> 0.36 \text{ g}$ ).

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), longitud de la radícula (cm): a partir de la raíz de mayor longitud (desde el cuello del vástago hasta el meristema apical de la misma), volumen de la radícula (ml): estimado mediante el desplazamiento de agua producto de la inmersión de la raíz, peso fresco del vástago y de la radícula (g), peso seco del vástago y la radícula (g): secados en estufa a  $70^\circ\text{C}$  por 72 h, relación altura de la plántula/longitud de la radícula y relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula.

Los resultados de los parámetros evaluados se analizaron mediante el análisis de varianza de tres factores (potencial osmótico, cultivar de maíz y peso de la semillas con tres, dos y tres niveles, respectivamente). Los datos del porcentaje de germinación ( $X$ ) fueron transformados mediante la fórmula  $\sqrt{X}$ . Las diferencias entre los promedios se determinaron por medio de la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan. El nivel de inferencia fue de 5 %.

## RESULTADOS

### Porcentaje de germinación

El análisis de varianza para el porcentaje de germinación a los 12 dds (datos no mostrados) únicamente señala efecto significativo para el factor cultivar de maíz y para la interacción potencial osmótico por cultivar de maíz. Al analizar la interacción potencial osmótico por cultivar, la germinación (Tabla I) mostró una disminución respecto al testigo por la disminución del potencial osmótico únicamente en el cultivar Himeca 95 en el menor potencial (- 1.2 MPa). Al comparar entre cultivares para cada nivel de potencial osmótico la mayor germinación fue para Pioneer 3031 también en el menor potencial.

### Parámetros de crecimiento

#### Altura de la plántula (cm)

El análisis de varianza para la altura de la plántula a los 12 dds

(datos no mostrados) muestra diferencias significativas para las tres fuentes simples de variación: potencial osmótico, cultivar de maíz y tamaño de semilla y para la doble interacción potencial osmótico por cultivar de maíz por tamaño de la semilla. El análisis de esta interacción (Tabla II) muestra que las plantas fueron más altas en el testigo que aquellas producidas con el potencial osmótico de -0.6 MPa y éste a su vez superó a las producidas con el potencial de -1.2 MPa en todos los tamaños de semilla y cultivares, a excepción del tamaño de semilla mediano ( $\geq 0.32 - 0.36 \text{ g}$ ) en el cultivar Pioneer 3031, donde el testigo produjo plantas más altas que las de los potenciales de -0.6 y -1.2 MPa, siendo estos dos últimos similares entre sí.

En cuanto al efecto del tamaño de la semilla, no hubo diferencias en la altura de la plántula en el cultivar Himeca 95 a potenciales de 0 y -0.6 MPa, y en el cultivar Pioneer 3031 a potenciales de 0 y -1.2 MPa, mientras que en el cultivar Himeca 95 a potencial de -1.2 MPa y en el cultivar Pioneer 3031 a potencial de -0.6 MPa las semillas de mayor tamaño ( $> 0.36 \text{ g}$ ) originaron plantas más altas que las de menor tamaño ( $< 0.32 \text{ g}$ ). En relación a la diferencia entre cultivares, los mismos produjeron plántulas de similar altura en todos los niveles del tamaño de semilla y del tipo de potencial osmótico a excepción de las semillas de menor tamaño en los potenciales de 0 y -0.6 MPa, semillas de tamaño mediano en el potencial de -0.6 MPa y en los tres potenciales osmóticos con las semillas de mayor tamaño, donde el cultivar Himeca 95 produjo plántulas más altas que el cultivar Pioneer 3031.

### Longitud de la radícula (cm)

El análisis de varianza para la longitud de la radícula a los 12 dds (datos no mostrados) indica significación estadística 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 (Tabla III), evidencia radículas más largas en el testigo ( $\psi_{os} = 0 \text{ MPa}$ ), radículas intermedias en longitud en el  $\psi_{os} = -0.6 \text{ MPa}$  y las radículas más cortas en el  $\psi_{os} = -1.2 \text{ MPa}$ . En la comparación de promedios para el efecto del cultivar (Tabla IV), las radículas de mayor longitud correspondieron a Himeca 95, estadísticamente superior a Pioneer 3031.

Potencial osmótico (Mpa)	Porcentaje de germinación †			
	Cultivar de maíz			
	Himeca 95		Pioneer 3031	
0	94.00	Aa	96.26	Aa
-0.6	97.32	Aa	95.94	Aa
-1.2	89.44	Bb	96.98	Aa

† 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.

Tabla I. Promedios para el porcentaje de germinación.

Cultivar de maíz	Potencial osmótico (Mpa)	Altura de la plántula (cm) †					
		Tamaño de la Semilla (g)					
		< 0.325		≥ 0.32–0.36 ≤		> 0.36	
Himeca95	0	28.960	A a X	29.519	A a X	30.963	A a X
	-0.6	17.048	B a X	17.263	B a X	17.624	B a X
	-1.2	8.219	C b X	9.870	C b X	13.722	C a X
Pioneer 3031	0	26.345	A a X	27.507	A a X	27.530	A a X
	-0.6	12.730	B b X	13.885	B b X	14.850	B a Y
	-1.2	9.762	C a X	10.305	B a X	10.331	C a Y

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ( $p \leq 0.05$ ).  
 Letras mayúsculas (A, B, C) para comparaciones entre potenciales osmóticos a un mismo nivel de tamaño de semilla y cultivar de maíz.  
 Letras minúsculas para la comparación de los diferentes tamaños de semilla a un mismo nivel de potencial osmótico y cultivar de maíz.  
 Letras mayúsculas (X, Y) para comparaciones entre cultivares de maíz a un mismo nivel de potencial osmótico y tamaño de la semilla.

Tabla II. Promedios para la altura de la plántula (cm).

Potencial Osmótico (Mpa)	LR (cm) †		VR (ml) †		PFV (g) †		PFR (g) †	
0	28.02	A	1.20	A	0.862	A	1.055	A
-0.6	15.63	B	0.88	B	0.445	B	0.847	B
-1.2	10.00	C	0.75	C	0.303	C	0.733	C

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

Tabla III. Promedios para la longitud de la radícula (LR) (cm), volumen de la radícula (VR) (ml), peso fresco del vástago (PFV) y peso fresco de la radícula (PFR).

Cultivar de maíz	LR (cm) †		VR (ml) †		RAP/LR †	
Pioneer 3031	18.80	A	0.99	A	0.90	A
Himeca 95	16.96	B	0.89	B	1.14	B

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

Tabla IV. Promedios para la longitud de la radícula (LR) (cm), volumen de la radícula (VR) (ml) y la relación altura de planta/longitud de la radícula (RAP/LR).

### Volumen de la radícula (ml)

El análisis de varianza para el volumen de la radícula a los 12 dds fue significativo estadísticamente sólo para los factores simples: potencial osmótico, cultivar de maíz y tamaño de la semilla, así como para las repeticiones (datos no mostrados). La prueba de promedios para el factor potencial osmótico (Tabla III) indica un mayor volumen radicular para las plántulas que crecieron en el testigo ( $\psi_{os} = 0$  MPa), seguido por el de las que crecieron en el  $\psi_{os} = -0.6$  MPa, y éste por el de las del  $\psi_{os} = -1.2$  MPa. La comparación de promedios para el factor cultivar (Tabla IV) indica mayor volumen radicular de Himeca 95, respecto a Pioneer 3031. La prueba de promedios para el tamaño de la semilla (Tabla V) señala que semillas de tamaño grande y mediano produjeron mayor volumen radicular, siendo estadísticamente iguales entre

sí pero superiores a aquéllas de tamaño pequeño.

### Peso fresco del vástago (g)

El análisis de varianza para este carácter señala diferencias significativas únicamente para los factores potencial osmótico y tamaño de la semilla (datos no mostrados). En la Tabla III, se presenta la prueba de separación de medias para el factor potencial osmótico, observándose un mayor peso fresco del vástago en las plántulas que crecieron en el testigo, seguido por el de las que crecieron en el  $\psi_{os} = -0.6$  MPa, y éste por el de las crecidas en el  $\psi_{os} = -1.2$  MPa. La prueba de promedios para el factor tamaño de la semilla (Tabla V) indica que semillas de tamaño grande y mediano produjeron mayor peso fresco del vástago, siendo estadísticamente iguales entre sí pero superiores a aquéllas de tamaño pequeño.

### Peso fresco de la radícula (g)

El respectivo análisis de varianza denota diferencias significativas para el factor potencial osmótico, tamaño de la semilla, repeticiones y la interacción cultivar de maíz por tamaño de semilla (datos no mostrados). La prueba de promedios para el factor potencial osmótico (Tabla III) indica un mayor peso fresco de la radícula para las plántulas crecidas en el testigo ( $\psi_{os} = 0$  MPa), seguido por el de las que crecieron en el  $\psi_{os} = -0.6$  MPa, y éste por el de las del  $\psi_{os} = -1.2$  MPa. El análisis de la interacción cultivar por tamaño de semilla (Tabla VI) mostró mayor peso fresco de la

Tamaño de semilla (g)	VR (ml) †		PFV (g) †		PSV (g) †		PSR (g) †		RAP/LR †	
>0.36	1.02	A	0.568	A	0.050	A	0.201	A	1.11	A
≥0.32–0.36 ≤	0.95	A	0.563	A	0.047	B	0.180	B	0.99	A
<0.32	0.86	B	0.479	B	0.040	C	0.152	C	0.97	B

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

**Tabla V. Promedios para el volumen de la radícula (VR) (ml), peso fresco del vástago (PFV), peso seco del vástago (PSV) (g), peso seco de la radícula (PSR) y la relación altura de planta/longitud de la radícula (RAP/LR).**

radícula para el cultivar Himeca 95 únicamente en el mayor tamaño de semilla. Al analizar entre tamaños de la semilla dentro de un cultivar no se encontraron diferencias en el peso fresco de la radícula en Pioneer 3031, pero sí en Himeca 95, donde las semillas de tamaño grande y mediano produjeron mayor peso fresco de la radícula, siendo estadísticamente iguales entre sí pero superiores a aquellas de tamaño pequeño.

#### Peso seco del vástago (g)

El análisis de varianza para el peso seco del vástago a los 12 dds señala diferencias significativas sólo para los factores potencial osmótico y tamaño de la semilla (datos no mostrados). En la Tabla VIII, se presenta la prueba de separación de medias para el factor potencial osmótico, observándose el mayor peso seco del vástago en las plántulas que crecieron en el testigo ( $\psi_{os} = 0$  MPa), seguido por el de las que crecieron en el  $\psi_{os} = -0.6$  MPa, y éste por el de las del  $\psi_{os} = -1.2$  MPa. La prueba de promedios para el factor tamaño de la semilla (Tabla V) indica mayor peso seco en las semillas más grandes, seguido por el de semillas medianas y éste por el de las pequeñas.

#### Peso seco de la radícula (g)

El análisis de varianza para el peso seco de la radícula a los 12 dds refleja significación estadística solamente para los factores potencial osmótico y tamaño de la semilla (datos no mostrados). La prueba de medias para el factor potencial osmótico (Tabla VII) señala que el mayor peso seco lo presentaron las radículas de las plántulas crecidas en el mayor potencial osmótico ( $\psi_{os} = -1.2$  MPa), seguido por el de las que crecieron en el  $\psi_{os} = -0.6$  MPa, y éste por el de las crecidas en el testigo ( $\psi_{os} = 0$  MPa). La

separación de promedios para el factor tamaño de la semilla (Tabla V) indica mayor peso seco en las semillas más grandes, seguido por el de semillas medianas y éste por el de las pequeñas.

#### 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 12 dds encontró sólo diferencias significativas para los factores cultivar de maíz y tamaño de la semilla (datos no mostrados). La prueba de medias para el factor cultivar (Tabla IV) señala una mayor relación altura de la plántula/longitud de la radícula de Pioneer 3031 respecto a Himeca 95. La separación de promedios para el factor tamaño de la semilla (Tabla V) indica un mayor valor en la relación en las semillas más grandes, seguido por el de semillas medianas y pequeñas, estas últimas iguales entre sí.

#### Relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula

El análisis de varianza promedios para la relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula a los 12 dds señala diferencias significativas sólo para el potencial osmótico (datos no mostrados). La prueba de medias para el factor potencial osmótico (Tabla VII) señala una mayor relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula para las plántulas del testigo ( $\psi_{os} = 0$  MPa), seguidas por aquellas del potencial  $\psi_{os} = -0.6$  MPa, y éstas por el del  $\psi_{os} = -1.2$  MPa.

Cultivar de maíz	Peso fresco de la radícula (g) †		
	Tamaño de la semilla (g)		
	> 0.36	≥ 0.32–0.36 ≤	< 0.32
Himeca 95	0.851 Aa	0.861 Aa	0.848 Ba
Pioneer 3031	0.783 Ab	0.907 Aa	1.020 Aa

† 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.

**Tabla VI. Promedios para el peso fresco de la radícula.**

Potencial Osmótico (MPa)	PSV (g) †	PSR (g) †	RPSV/PSR †
0	0.060 A	0.115 C	0.53 A
-0.6	0.043 B	0.196 B	0.22 B
-1.2	0.033 C	0.222 A	0.15 C

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

**Tabla VII. Promedios para el peso seco del vástago (PSV), peso seco de la radícula (PSR) y la relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula.**

## DISCUSIÓN

En este experimento en el que se utilizó papel regado con soluciones osmóticas preparadas con sacarosa en distintas concentraciones para simular las tensiones a las que el agua fue sometida en el sustrato y a tres frecuencias de riego para una prueba de sequía, la altura de las plántulas a los 12 dds presentó una interacción doble, potencial osmótico por cultivar por tamaño de la semilla, de la que se desprende la utilidad de emplear semillas grandes para diferenciar entre cultivares, dado que cuando las semillas son pequeñas tienden a parecerse en la altura aun cuando disminuya el potencial osmótico. No existió en este experimento dominancia de una interacción en particular (cultivar por potencial osmótico), por lo tanto, el potencial osmótico y el tamaño de la semilla tuvieron mayor efecto sobre el crecimiento de las plántulas en los experimentos en papel para la prueba de sequía. Al reducir el potencial osmótico disminuyeron los valores de los parámetros de crecimiento, mientras que al aumentar el tamaño de la semilla se produjeron plántulas más grandes, probablemente por el mayor vigor de éstas. En consecuencia puede ser interesante seleccionar dentro de un cultivar la semilla de mayor tamaño. En cuanto al cultivar, hubo superioridad de Himeca 95 para la longitud de la radícula y el volumen radicular, respecto a Pioneer 3031, con una menor relación altura de la plántula/longitud de la radícula, del primero respecto al segundo.

En el experimento se observó una disminución en la germinación por efecto del incremento del estrés hídrico para Himeca 95 pero en Pioneer 3031, el estrés hídrico no afectó la germinación. Similares resultados han sido reportados por diversos autores. En un ensayo se comparó en condiciones de laboratorio el efecto del potencial hídrico en la germinación de los cultivares Cargill 717 y Cargill 633 y se encontró una inhibición total de la germinación en ambos cultivares bajo un potencial osmótico de -1.5 MPa, y una disminución en germinación por debajo del 50% en los dos cultivares bajo un potencial osmótico de -0.1 MPa. Además, el potencial de -1.5 MPa inhibió el crecimiento del coleóptilo en ambos cultivares<sup>5</sup>; en otro ensayo se evaluaron el efecto de soluciones osmóticas de polietilén glicol en tres cultivares de maíz (Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031), y encontraron que a potenciales osmóticos de -0.9 y -1.2 MPa ocurrió una inhibición total en la germinación de las semillas, mientras que los demás potenciales evaluados causaron la disminución de este parámetro. Los porcentajes de reducción a -0.3 y -0.6 MPa fueron respectivamente: 19.40 y 91.17% para el porcentaje de germinación<sup>8</sup>. Al estudiar el efecto de las soluciones osmóticas de manitol en la germinación de los cultivares de maíz Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031, se vio que en general, las disminuciones en los potenciales osmóticos causaron una disminución de la germinación, excepto a -0.3 Mpa, donde el porcentaje de germinación fue superior al del control. La germinación fue más reducida a -1.2 MPa, con reducciones de 95.84; 88.29 y 89.78% para Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031, respectivamente<sup>7</sup>. En el presente trabajo los potenciales hídricos se ubicaron por encima del mínimo requerido para la

germinación de las semillas de maíz, lo cual se desprende de una investigación que evaluó el uso de cinco tipos de textura de suelo sobre los potenciales hídricos mínimos para la germinación de las semillas de maíz, soya, arroz y remolacha azucarera, los cuales resultaron ser -1.27; -0.67; -0.80 y -0.35 MPa, respectivamente, señalando que las diferencias observadas entre especies vegetales suelen atribuirse a que las fuerzas osmóticas internas para la imbibición del agua son distintas<sup>13</sup>. Dado que en el presente trabajo los potenciales hídricos superaron el mínimo requerido para la germinación de las semillas de maíz, se considera que este factor no fue una limitante importante en este proceso.

Diferencias en la germinación entre cultivares de maíz por efecto de estrés hídrico producido con soluciones osmóticas se han señalado en otras investigaciones. En condiciones de laboratorio, se observaron mayores porcentajes de germinación del cultivar Cargill 717 sobre Cargill 633 en potenciales osmóticos de -0.03 y -0.5 MPa<sup>5</sup>. En un estudio con soluciones de glucosa y su efecto en tres cultivares de maíz (Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031) se vio que el porcentaje de germinación se incrementó 2.05 y 3.76% en Cargill 633 e Himeca 2003, respectivamente, en el potencial de -0.3 MPa, pero en Pioneer 3031 no se vio afectado, las mayores reducciones en la germinación ocurrieron a -1.2 MPa con 88.52; 94.41 y 87.50% para Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031, respectivamente<sup>6</sup>. Al evaluar el efecto de soluciones de polietilén glicol en los cultivares de maíz Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031, se encontró 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<sup>8</sup>.

El crecimiento de las plántulas de maíz se vio afectado por las condiciones de estrés hídrico producidas en el experimento a excepción del peso seco de la radícula. Reducciones en los caracteres de crecimiento en distintos cultivares de maíz han sido señalados por otros investigadores. En un experimento para evaluar el efecto del estrés de agua, en condiciones de umbráculo en los cultivares Cargill 717 y Cargill 633, mediante diversos contenidos de humedad en el suelo (70.94: 46.87 y 31.25% de capacidad de campo), logrados a través del riego cada 4, 8 y 12 días, se observaron disminuciones en los parámetros de crecimiento por efecto del contenido de humedad en el suelo: altura (17.27; 15.81 y 14.15 cm, respectivamente), peso seco de las hojas (556.6; 420.0 y 362.0 mg, respectivamente) y en el número de hojas (7.46; 7.50 y 6.71, respectivamente)<sup>5</sup>. En la evaluación de soluciones de glucosa y su efecto en los cultivares de maíz Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031, se encontró que en todos los parámetros de crecimiento evaluados, las disminuciones del potencial osmótico causaron una disminución en los valores de las variables<sup>6</sup>.

En este experimento sólo se encontraron diferencias significativas para el peso seco de la raíz en potencial osmótico y tamaño de la semilla, no así para los cultivares; similares resultados fueron

reportados en un experimento para evaluar diez híbridos dobles de maíz cultivados en macetas de plástico de 2 kg de capacidad, cuando se cribaron las respuestas de los genotipos de maíz para peso seco de las raíces bajo estrés de sequía, se encontraron que todos los híbridos, excepto para Ceniap 69 y Cargill 163, se comportaron sin diferencias significativas entre ellos<sup>14</sup>.

Es de hacer notar que en este experimento el peso seco de la radícula se incrementó al aumentar la concentración de la solución osmótica, aun cuando la longitud y el volumen de ésta disminuyeron por la reducción del potencial osmótico. Similares resultados se reportaron en un experimento en condiciones de laboratorio, utilizando como sustrato papel absorbente, se presentó disminución en el peso seco de la radícula del cultivar Cargill 633 en potenciales osmóticos preparados con sacarosa a -0.16; -0.32 y -0.48 MPa; pero el valor del carácter incrementó a -0.64 MPa, aunque no sobrepasó el valor del testigo, y en una población de polinización libre denominada Criollo se encontraron disminuciones en el peso seco de la radícula a -0.16 MPa, pero incrementos en el valor del carácter en los potenciales de -0.32 y -0.48 MPa, en este último, el peso seco superó el valor del testigo, aunque el peso disminuyó a -0.64 MPa<sup>15</sup>. Al respecto se ha señalado 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 nutrientes<sup>16</sup>. Parecen existir dos efectos del potencial osmótico<sup>17</sup>, a corto plazo la inmersión de raíces en soluciones con potencial osmótico de -0.2 a -0.3 MPa, produce una deshidratación leve de las membranas de paredes y células, incrementando la resistencia al flujo hídrico, en periodos más largos, se reduce el alargamiento de la raíz y aumenta la suberización lo cual se traduce en sistemas de raíces más pequeños con mayor resistencia al movimiento del agua que se encuentra en las raíces obtenidas en soluciones diluidas<sup>18</sup>. La explicación al hecho de que el fenómeno de suberización se haya presentado en el experimento con papel absorbente, tal vez se deba al contacto directo de las raíces con las soluciones osmóticas, lo que posiblemente incrementó el efecto osmótico. Cuando se indujo un déficit hídrico por PEG, el cultivar NHH de palma datilera tuvo el epicotilo más largo, más biomasa aérea, más raíces laterales y raíces principales más largas y el desarrollo del sistema radical incrementa la absorción de agua, con un mayor contenido de prolina en las células vegetales para mantener una presión osmótica correcta; esto ha sido descrito en previos estudios como el incremento del sistema radical en árboles de mango bajo estrés hídrico<sup>19</sup>.

En la reducción de los caracteres de crecimiento se observó diferente sensibilidad a la sequía entre las radículas y los vástagos. En el experimento se apreció un incremento en la relación altura de las plántulas/longitud de las radículas con el aumento del potencial del agua en el suelo por la disminución del potencial osmótico. Resultados distintos a los aquí observados para esta relación fueron obtenidos en condiciones de laboratorio

en un experimento con papel absorbente al estudiar la relación altura de la plántula/longitud de la radícula en los cultivares de maíz Cargill 633, Pioneer 3031 e Himeca 2003, donde se encontró que ésta disminuyó con las reducciones del potencial osmótico preparado con glucosa<sup>6</sup>. Con relación a estas observaciones, se ha indicado 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<sup>20</sup>. En ciertos casos, la deficiencia hídrica no aumenta el crecimiento de la raíz en relación al crecimiento del tallo, como en el maíz, ya que el crecimiento de la raíz se incrementó por sí mismo<sup>20</sup>. 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 supervivencia más larga de la planta. Se ha sugerido que los incrementos absolutos de la raíz podrían ser de utilidad en los cultivos con tubérculos, como la remolacha azucarera<sup>20</sup>. 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.

La variación entre cultivares en etapas tempranas del crecimiento de las plántulas, por efecto del estrés hídrico producido con soluciones osmóticas, ha sido señalados en un estudio de los efectos de soluciones de manitol en tres cultivares de maíz (Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031), donde se observó que tanto el peso del vástago, como el de la radícula, fueron severamente reducidos a potenciales de -0.9 y -1.2 MPa, 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 -0.6 MPa, por ser el potencial osmótico donde hubo la mayor variabilidad entre cultivares, tomando en cuenta los tres caracteres donde la interacción cultivares por potencial osmótico fue significativa (porcentaje de germinación y los pesos secos del vástago y de la radícula)<sup>7</sup>.

El tamaño de la semilla no afectó el proceso de germinación en las condiciones de estrés hídrico producidas en este trabajo. Aunque no se presentó influencia del tamaño de la semilla en la germinación por efecto del potencial osmótico, otros investigadores han trabajado con potenciales osmóticos mayores a los empleados en esta investigación y señalan ventajas de las semillas de menor tamaño respecto a las mayores en esa condición. Al estudiar 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 (0.00; -1.01; -1.42 y -1.82 MPa), encontraron que la germinación de la semillas pequeñas y medianas de White Cloud fue significativamente más alta que la de las semillas grandes a -1.42 MPa (90.9 y 85.2% para la semilla pequeña y mediana, respectivamente, y 67.4%, para la grande) y -1.82 MPa (43.6 y 34.5% semilla pequeña y mediana, respectivamente, y 19.8% la grande), pero no a 0 y -1.01 MPa (99.4; 100.0 y 100.0% para los tamaños pequeño, mediano y grande, respectivamente). Esto sugiere, de acuerdo a los autores, que la ventaja de las semillas pequeñas, en términos de germinación bajo condiciones de estrés de agua, se incrementa cuando el potencial del agua del medio es artificialmente disminuido. Aun cuando no hubo diferencias significativas entre el porcentaje de germinación de la fracción de semillas pequeñas y la fracción de semillas grandes de White Cloud en todos los niveles de concentración de manitol, la fracción de semillas medianas fue casi siempre intermedia en porcentaje de germinación entre la fracción pequeña y la fracción grande (98.4; 93.5; y 97.8%, para los tamaños pequeño, mediano y grande, respectivamente, a -1.01 MPa; 90.9; 85.2; y 67.4%, a -1.42 MPa, y 43.6; 34.5; y 19.8%, a -1.82 MPa). Hubo diferencias significativas entre las tres fracciones de semilla de R181 a -1.01 MPa, pero no a mayores niveles de concentración de manitol. En Ay499, los resultados fueron menos consistentes. A -1.82 MPa solamente germinó la fracción de semillas pequeñas. Sin embargo, la doble interacción potencial osmótico por cultivar por tamaño de la semilla del experimento, con papel como sustrato en la presente investigación, sugiere que para seleccionar cultivares tolerantes a condiciones de estrés hídrico durante los primeros días del crecimiento de las plántulas en los potenciales osmóticos evaluados (-0.6 y -1.2 MPa), contrariamente a la ventaja presentada por las semillas pequeñas en el proceso de germinación, es necesario emplear semillas de tamaño grande, ya que semillas medianas y pequeñas tienden a parecerse en la altura cuando disminuye el potencial osmótico<sup>11</sup>. Estos resultados coinciden con los reportados en garbanzo, en cuanto a la ventaja de las semillas grandes sobre las de menor tamaño en condiciones de salinidad, aun cuando los autores señalan que esta ventaja se perdió con potenciales osmóticos de -0.6 y -0.9 MPa<sup>21</sup>, y con los encontrados en la presente investigación en los potenciales osmóticos de 0 y -0.6 MPa, también se perdió en -1.2 MPa. En un experimento para determinar los efectos del tamaño de la semilla en seis cultivares de avena, sobre la germinación de semillas bajo condiciones de estrés, se encontró que la disminución del potencial osmótico y del tamaño de la semilla incrementaron el tiempo de germinación y disminuyeron el porcentaje final de germinación<sup>22</sup>.

Las diferencias en la germinación entre diferentes tamaños de semillas dentro de los cultivares de maíz, por efecto de condiciones simuladas de estrés de agua, usando distintas soluciones osmóticas, pueden ser atribuidas exclusivamente a factores no genéticos, si se asume que no existen diferencias genéticas entre

las fracciones de semillas dentro de un tipo de maíz. Las diferencias en peso dentro de un tipo resultan de los factores ambientales y el efecto de la posición de la mazorca. En consecuencia, el tamaño de la semilla ejerce influencia en el porcentaje de germinación de las semillas de maíz, bajo condiciones simuladas de estrés hídrico<sup>11</sup>.

En condiciones de sequía el comportamiento de un cultivar está en función de la etapa del ciclo biológico, así cultivares tolerantes a la sequía en la fase de germinación no brindan la seguridad de mantener esta condición durante las siguientes etapas de su crecimiento y desarrollo. Sin embargo, esta observación es de utilidad porque muestra que es posible seleccionar la semilla que germine más y más rápido bajo sequía, por lo que se podría disponer de cultivares capaces de tolerar el estrés en esta etapa del cultivo.

## CONCLUSIONES

El potencial osmótico de -1.2 MPa causó una disminución de la germinación en Himeca 95 pero no en Pioneer 3031, en general, las reducciones en el potencial osmótico de las soluciones causaron una disminución de todos los caracteres de las plántulas a excepción del peso de la radícula que fue mayor con el menor potencial osmótico.

La selección de material genético tolerante a la sequía en la etapa de germinación puede hacerse con potenciales osmóticos de -1.2 MPa producidos con sacarosa, observando mayor tolerancia el cultivar Pioneer 3031 respecto a Himeca 95.

El tamaño de la semilla no influyó en el proceso de germinación en ninguna de las condiciones de estrés en estudio, sin embargo, se apreció superioridad en el crecimiento de las plántulas de maíz afectadas por sequía originadas a partir de semillas grandes, por lo que el uso de semillas grandes puede representar una ventaja en suelos sin problemas de sequía.

## 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. Edmeades, G.O., Bolaños, J. & Lafitte, H.R. 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. 1992).
3. Ellis, R.H. & Roberts, E.H. Towards a national basis for testing seed quality. In (Seed Production) (Hebblethwaite, pp. 605-635, 1980).
4. Musgrove, M.E., Priestley, D.A. & Leopold, A.C. Methanol stress as a test of seed vigor. *Crop Sci.* **20** (5), 626-630 (1980).
5. 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 *Magister Scientiarum* en agricultura Tropical Mención Producción Vegetal. Postgrado en Agricultura Tropical. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas. Venezuela. 86 p. (1999).
6. 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 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) (12 de febrero de 2006) (2002).
7. 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 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) (12 de febrero de 2006) (2002).
8. 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. Polietileno 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) (12 de febrero de 2006) (2002).
9. 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. pp. 14-94. (2002).
10. Vasudevan, V. & Balasubramanian, V. Germination in osmotic solutions an index of drought resistance in sorghum *Madras Agri. J.* **52**, 386-390 (1965).
11. Muchena, S.C. & Grogan, C.O. Effects of seed size on germination of corn (*Zea mays*) under simulated water stress conditions. *Can. J. Plant. Sci.* **57**, 921-923 (1977).
12. Salisbury, F. & Ross, C. Fisiología de las Plantas (Thompson Learning, España, pp. 69-70, 1992).
13. Hunter, J.R. & Erickson, A.E. Relation of seed germination to soil moisture tension. *Agron. J.* **44**, 107-109 (1952).
14. Camacho, R.G. & Caraballo, D.F. Evaluation of morphological characteristics in Venezuelan maize (*Zea mays* L.) genotypes under drought stress *Sci. Agric., Piracicaba* **51** (3), 453-458 (1994).
15. Machado A., F.M. Efecto del agua caliente, tiempo de inmersión y potencial osmótico sobre la germinación de las semillas y el desarrollo inicial de cuatro cultivares de maíz (*Zea mays* L.). Trabajo de grado presentado para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Venezuela, pp. 11-140 (2002).
16. De Santa Olalla, M.F. & De Juan Valero, J.A. Agronomía del Riego (Mundi-Prensa, Madrid, España, 1993).
17. Kramer, P.J. Relaciones Hídricas de Suelos y Plantas (Harla, México, pp. 234-240, 1989).
18. Hayward, H.E. & Blair W.M. Algunas respuestas de naranjos valencianos jóvenes a concentraciones variables de cloruro e iones de hidrógeno. *Amer. J. Bot.* **29**, 148-155 (1942).
19. Djibril, S., Mohamed O.K., Diaga, D., Diégane, D., Abaye, B.F., Maurice, S. & Alain, B. Growth and development of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedlings under drought and salinity stresses. *Afr. J. Biotechnol.* **4** (9), 968-972 (2005).
20. Parsons, L. Respuestas de la planta a la deficiencia de agua. In *Mejoramiento de Plantas en Ambientes poco Favorables* (Editorial Limusa, México, pp. 211-231, 1991).
21. 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).
22. Willenborg, C.J., Wildeman J.C., Miller A.K., Rossnagel B.G. & Shirliffe S.J. Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes, and osmotic potentials. *Crop Sci* **45**, 2023-2029 (2005).