

Germinación y Desarrollo de Plántulas de Tres Híbridos de Maíz bajo Soluciones Osmóticas. IV. Manitol

J. Méndez Natera, F. Ybarra Pérez, J. Merazo Pinto
Departamento de Agronomía, Escuela de Ingeniería Agronómica
Universidad de Oriente
Avenida Universidad, Campus Los Guaritos, 6201, Maturín, estado Monagas, Venezuela
E-mail: jmendezn@cantv.net

Resumen

El objetivo fue evaluar el efecto del potencial osmótico (PO), creado con manitol sobre la germinación y crecimiento de plántulas de tres híbridos de maíz. Se usó un diseño de bloques al azar en arreglo factorial con cuatro repeticiones. Se utilizaron los PO: 0, -3, -6, -9 y -12 bares. Las mayores reducciones ocurrieron a -12 bares: germinación (95,84; 88,29 y 75,71% para Cargill-633, Himeca-2003 y Pioneer-3031, respectivamente) y como promedio de los cultivares: altura de plántula (98,53%), longitud radicular (98,02%) y número de hojas/plántula (75,71%). El peso del vástago y de la radícula fue severamente reducido a PO de -9 y -12 bares. Se sugiere el uso del PO -6 bares creado con manitol para discriminar cultivares de maíz tolerantes a la sequía.

Palabras Claves: maíz, *Zea mays*, estrés hídrico, resistencia a la sequía, manitol.

Abstract

The objective was to evaluate the effect of five osmotic potentials (OP) created with mannitol on seed germination and seedling growth of three corn hybrids. A 3x5 factorial experiment in a randomized complete block design was used with four replications. OP were 0,-3,-6,-9 and -12 bars. The biggest reductions occurred at -12 bars: germination (95.84; 88.29 and 75.71% for Cargill-633, Himeca-2003 and Pioneer-3031, respectively) and as average of cultivars: seedling height (95.83), radicle length (98.02%) and number of leaves/seedling (75,71%). Shoot and radicle weights were severely reduced at OP of -9 and -12 bars. The -6 bars OP created with mannitol is suggested to screen corn cultivars for tolerance to water stress.

Keywords: corn, *Zea mays*, water stress, drought tolerance, mannitol.

1. Introducción

El uso de sustancias osmóticas como sacarosa, inositol, cloruro de sodio, manitol, polietilene glicol, etc. para evaluar la tolerancia o resistencia al estrés hídrico representa una forma de avanzar rápidamente en programas de mejoramiento genético de cualquier cultivo a este estrés. En la actualidad las condiciones climáticas han sufrido cambios bruscos e inesperados, por ejemplo, extensión o disminución de los periodos de lluvias, elevación de la temperatura, etc., de manera que es importante contar con cultivares de maíz que sean tolerantes a estos cambios climáticos debido a que la siembra de este cultivo se realiza mayormente de seco, es decir, el suministro de agua depende la cantidad y distribución de las lluvias. Blum [1] señaló que existe una estrecha asociación entre la fase de sequía y un mecanismo dado de resistencia, siempre y cuando la prueba de respuesta a la sequía esté relacionada en realidad a un evento de escasez de

humedad; por ejemplo, la emergencia de la semilla en una solución de manitol puede revelar tolerancia al estrés osmótico en semillas y plántulas, sin embargo, una correlación con el rendimiento podría ser una coincidencia, a menos que se coloque éste como un factor en las pruebas realizadas en plantas adultas.

La disponibilidad de agua es una condición esencial para la germinación de las semillas, ya que determina la imbibición y posterior activación de procesos metabólicos, como rehidratación, mecanismos de reparación (membranas, proteínas y ADN), elongación celular y aparición de la radícula [2].

El manitol puede ser un excelente medio para evaluar genotipos de maíz ante el estrés hídrico. Numerosos investigadores han utilizado el manitol como simulador de la sequía. Madueño Molina *et al* [3] evaluaron la influencia de diferentes potenciales osmóticos creados con manitol sobre la germinación de semilla y el crecimiento de plántulas de tres poblaciones de frijolillo (*Rhynchosia minima*)

utilizando semilla de frijolillo colectada en tres localidades de la Llanura Costera de Nayarit, México y encontraron que las colectas de Villa Juárez y El Limón mostraron tener capacidad para germinar en condiciones de bajo potencial osmótico con más de 50% de semillas germinadas, aunque, en general, esta condición afectó la velocidad de germinación. Por otra parte, esto mismo disminuyó el crecimiento de vástago y la raíz y concluyeron que el porcentaje de germinación de semillas de frijolillo y el desarrollo de plántulas, con bajos potenciales osmóticos, podría indicar que esta especie tiene tolerancia a la sequía en las primeras etapas de su crecimiento. Por otra parte, Machado Neto *et al* [4] evaluaron el efecto del déficit hídrico inducido por manitol (0, -0,3, -0,6, -1,2, -2,4 MPa) observando la germinación y vigor de las plántulas de cuatro cultivares de soya comúnmente sembrados en las sabanas de Brasil y reportaron que no hubo una interacción significativa entre los cultivares y los tratamientos osmóticos para la germinación y plántulas anormales, donde los cultivares Pionera, Conquista y Xingu no tuvieron ninguna disminución de la capacidad de germinación a déficits hídricos de 0, -0,3, -0,6 y -1.2 MPa, sin embargo, Pintado mostró una reducción con un aumento en el déficit hídrico inducido por manitol.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de cinco potenciales osmóticos creados con manitol sobre la capacidad de germinación de las semillas y posterior crecimiento de las plántulas de tres híbridos de maíz.

2. Materiales y Métodos

El presente trabajo se realizó en el laboratorio del Post-grado de Agricultura Tropical de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, ubicado en la Urbanización Juanico, Maturín, Estado Monagas, Venezuela. Se usaron los híbridos comerciales de maíz Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031. Las semillas tuvieron un contenido de humedad promedio de 12 %. El ensayo se realizó en un diseño de bloques al azar en arreglo factorial con cuatro repeticiones, un factor estuvo constituido por cinco potenciales osmóticos: 0, -3, -6, -9 y -12 bares y el otro factor correspondió a los tres híbridos de maíz. Los potenciales osmóticos creados con manitol se estimaron de acuerdo a la ecuación de J. H. van't Hoff [5]. Los potenciales osmóticos de 0, -3, -6, -9 y -12 bares se obtuvieron agregando 0,00; 21,92; 43,84; 65,76 y 87,68 g, respectivamente, en un litro de agua.

Se usaron 500 semillas de cada híbrido, posteriormente se separaron en bolsitas de plástico de 25 semillas cada una, se desinfectaron con una solución de cloro comercial al 10 % (10 ml de cloro comercial/100 ml de agua) durante 3 minutos, enjuagándose con agua para eliminar el exceso de cloro. Luego se procedió a la siembra en el laboratorio

de la siguiente manera: las semillas fueron distribuidas en hileras de 25 semillas de cada uno de los híbridos en hojas de papel absorbente colocadas sobre bandejas de metal y se cubrieron con dos hojas de dicho papel, y se humedecieron (riego) diariamente aplicando las soluciones osmóticas de manitol dos veces al día durante 12 días. Las plantas se cosecharon a los 12 días después de la siembra y se determinaron los siguientes caracteres: porcentaje de germinación; altura de la plántula (cm); longitud de la raíz (cm); número de hojas/plántula; peso seco del vástago (g); peso seco de radícula (g); relación altura de plántula/longitud de radícula y relación peso seco vástago/peso seco de radícula. Se realizó el análisis de varianza convencional. Las diferencias entre los promedios para el efecto principal de cultivares se detectó mediante la prueba de ámbitos múltiples de Duncan, mientras que si el efecto principal potenciales osmóticos o la interacción cultivares x potenciales osmóticos fueron significativos se realizó el análisis de regresión correspondiente. En todos los análisis estadísticos se utilizó un nivel de probabilidad de 0,05. Previamente al análisis de varianza, los porcentajes de germinación se transformaron mediante la fórmula $\text{Arc Seno } \sqrt{(x + 3/8)/(n + 3/4)}$, mientras que el resto de los caracteres se transformaron mediante la fórmula $\sqrt{(x + 0,5)}$.

3. Resultados

En la tabla 1 se muestra el análisis de varianza y de regresión para los caracteres evaluados. Todos los caracteres presentaron efectos significativos para el factor potencial osmótico, mientras que para los cultivares no se encontraron diferencias significativas para los caracteres altura de planta, longitud de radícula, número de hojas, relación altura de plántula/longitud de radícula y relación peso del vástago/peso de la radícula. La interacción cultivar x potencial osmótico fue significativa para los caracteres porcentaje de germinación, peso seco del vástago y peso seco de la radícula. Todas las ecuaciones de regresión presentaron un alto ajuste ($R^2 > 97,00\%$), excepto la relación altura de plántula/longitud de la radícula que tuvo un valor de 64,64% y la relación peso del vástago/peso de la radícula con 83,94%.

La figura 1 muestra el análisis de regresión de los caracteres bajo estudio que resultaron significativos para las fuentes de variación potenciales osmóticos ó la interacción cultivares x potenciales osmóticos (todos los caracteres evaluados). Para la altura de la plántula (Figura 1.B), longitud de la radícula (Figura 1.B), número de hojas/plántula (Figura 1.C), relación altura de plántula/longitud de radícula (Figura 1.F) y relación peso de vástago/peso de radícula (Figura 1.F) las respuestas fueron cúbica, cúbica, cúbica, cuadrática y cúbica, respectivamente como promedio de los

cultivares, es decir, la interacción fue no significativa, mientras que para el porcentaje de germinación (Figura 1.A) y los pesos secos del vástago (Figura 1.D) y de la radícula (Figura 1.E), la interacción cultivares x potenciales osmóticos fue significativa, con respuestas cuadráticas ó cúbicas dependiendo del carácter o del cultivar. Por otra parte, la Figura 2 muestra la prueba de Duncan para la altura de la plántula en los tres híbridos evaluados. El cv. Pioneer 3031 produjo plantas más altas que las del cv. Himeca 2003, pero similares en altura a las de Cargill 633.

4. Discusión

En general, incrementos en los potenciales osmóticos causaron una disminución de los valores en todos los caracteres, excepto la germinación en los tres cultivares, donde a -3 bares, el porcentaje de germinación fue superior al del control y la relación de pesos fue también superior a -3 bares. El análisis de regresión indicó que la germinación fue más deprimida

a -12 bares, con reducciones de 95,84; 88,29 y 89,78 % para Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031, respectivamente. Resultados similares fueron reportados por Madueño Molina *et al* [3] trabajando con tres poblaciones de frijolillo (*R. minima*) y diferentes potenciales osmóticos creados con manitol (0,000; -0,125; -0,431; -0,646; -0,862; -1,077; -1,293; -1,508 y -1,724 MPa) encontraron que a partir de -1,293 MPa, la germinación promedio de las tres colectas disminuyó en más de 50% y el análisis del comportamiento individual de la germinación, de cada una de las colectas en el gradiente osmótico, permitió observar que Villa Juárez fue estadísticamente superior a las otras, logrando una germinación de 29,00% en el nivel de -1,724 MPa, mientras que El Limón y Pimientillo sólo alcanzaron 8,75 y 0,0%, respectivamente, fue notorio que, en Villa Juárez, el porcentaje de germinación fue similar hasta el nivel de -0,646 MPa, en contraste con las otras dos colectas que disminuyeron en forma significativa esta variable a partir del nivel de -0,431 MPa y Maldonado *et al* [2]

Tabla 1. Análisis de varianza y de regresión para el porcentaje de germinación (PG), altura de plántula (AP) (cm), longitud de la radícula (LR) (cm), número de hojas (NH), peso seco del vástago (PV) (g), peso seco de la radícula (PR) (g), relación AP/LR y relación PV/PR de tres cultivares de maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes potenciales osmóticos creados con manitol.

Fuente de Variación	GL	Cuadrados medios								
		PG	AP	LR	NH	PV	PR	RAP/LR	RPV/PR	
Repeticiones	3	1,11 ns	0,07 ns	0,22 *	0,011ns	0,00000 ns	0,00004*	0,054 ns	0,004 ns	
Cultivares (C)	2	3,38 *	0,15 *	0,05 ns	0,002ns	0,00008 *	0,00014*	0,065 ns	0,009 ns	
Pot Osmótico (PO)	4	72,88 *	37,76 *	27,09 *	1,001*	0,00365 *	0,00515*	0,227 *	0,698 *	
Reg. Lineal	1		121,69 *	90,70 *	3,018*			0,445 *	2,113 *	
Reg. Cuadrática	1		28,60 *	16,40 *	0,637*			0,141 *	0,110 *	
Reg. Cúbica	1		0,61 *	1,02 *	0,347*			0,080 ns	0,118 *	
Efecto Residual	1		0,14 ns	0,25 *	0,002ns			0,240 *	0,448 *	
C * PO	8	1,28 *	0,04 ns	0,06 ns	0,023ns	0,00003 *	0,00005*	0,026 ns	0,004 ns	
Cargil 633 en PO	4	27,24 *				0,00143 *	0,00217*			
Reg. Lineal	1	88,61 *				0,00520 *	0,00807*			
Reg. Cuadrática	1	18,63 *				0,00050 *	0,00037*			
Reg. Cúbica	1	0,02 ns				0,00003 *	0,00023*			
Efecto Residual	1	1,68 ns				0,00000 ns	0,00001ns			
Himeca 2003 en PO	4	23,68 *				0,00090 *	0,00130*			
Reg. Lineal	1	82,68 *				0,00317 *	0,00475*			
Reg. Cuadrática	1	4,50 *				0,00039 *	0,00039*			
Reg. Cúbica	1	4,76 *				0,00000 ns	0,00000ns			
Efecto Residual	1	2,77 *				0,00003 *	0,00005*			
Pionner 3031 en PO	4	24,52 *				0,00142 *	0,00178*			
Reg. Lineal	1	88,88 *				0,00511 *	0,00635*			
Reg. Cuadrática	1	1,41 ns				0,00053 *	0,00037*			
Reg. Cúbica	1	7,28 *				0,00000 ns	0,00012*			
Efecto Residual	1	0,51 ns				0,00004 *	0,00027*			
Error Experimental	42	0,45	0,03	0,04	0,014	0,00001	0,00001	0,024	0,006	
Total	83									
C. V. (%)		6,11	8,45	9,31	8,80	0,33	0,46	13,29	7,82	
R ² total (%)		97,89	99,91	99,77	99,94	99,94	98,43	64,64	83,94	

GL: Grados de libertad; C. V.: Coeficiente de variación * : Significativo ($p \leq 0,05$) ns : No Significativo ($p > 0,05$)

quienes estudiaron la capacidad germinativa de semillas de *Lycopersicon chilense* sometidas a distintas temperaturas y concentraciones de manitol (0,0; -0,2; -0,5; -0,9; -1,5 y -1,8 MPa), provenientes de plantas

madres que crecieron con buen abastecimiento hídrico (+H₂O) y de otro grupo que creció con un abastecimiento hídrico deficiente (-H₂O) y encontraron que la disminución de los potenciales hídricos provocó

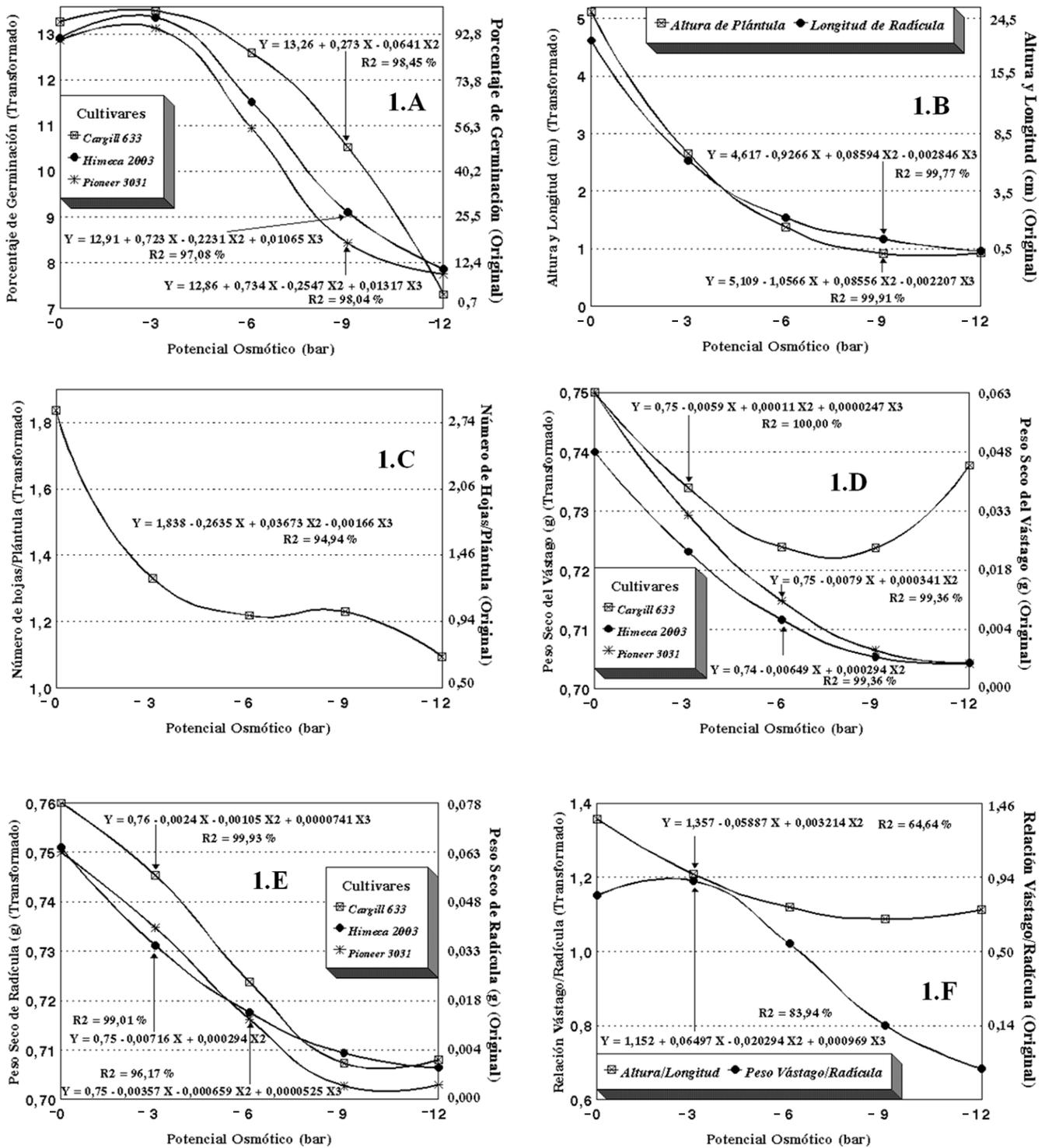
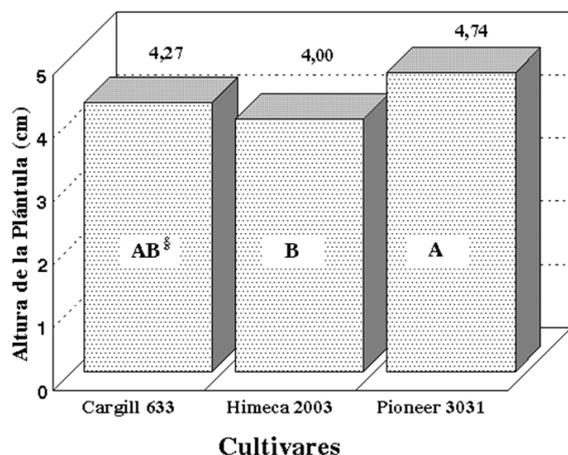


Figura 1. Análisis de regresión para el porcentaje de germinación de las semillas (1.A), altura de la plántula (cm) (1.B), longitud de la radícula (cm) (1.B), número de hojas/plántula (1.C), peso seco del vástago (g) (1.D), peso seco de la radícula (g) (1.E) y la relación altura de plántula/longitud de la radícula (1.F) y la relación peso del vástago/peso de la radícula (1.F) a los 12 días después de la siembra de tres cultivares de maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes potenciales osmóticos creados con manitol. El porcentaje de germinación se transformó mediante $\text{Arc Seno } \sqrt{(x+3/8)/(n+3/4)}$, mientras que el resto de los caracteres se transformaron mediante $\sqrt{(x+0,5)}$.

una reducción significativa del número total de semillas germinadas a partir de potenciales menores a -0,5 MPa. Al mismo tiempo se observó que la disminución de los potenciales hídricos produjo un retardo en la germinación e indicaron que la disminución en los potenciales hídricos por adición de manitol inhibió progresivamente la germinación, debido a una menor disponibilidad del agua libre necesaria para el inicio de los procesos de imbibición y activación metabólica. Según Mayer y Poljakoff Mayber [6] resultados como estos se pueden atribuir a la ausencia de energía para comenzar el proceso de germinación, como la energía se obtuvo por incrementos en la vía respiratoria después de la imbibición y en bajos niveles de contribución del potencial hídrico, la absorción de agua se procesa lentamente.

Machado Neto *et al* [4] evaluaron el efecto del déficit hídrico inducido por manitol (0, -0,3, -0,6, -1,2, -2,4 MPa) mediante la observación de la germinación y vigor de las plántulas de cuatro cultivares de soya comúnmente sembrados en las sabanas de Brasil y reportaron que no hubo una interacción significativa entre los cultivares y los tratamientos osmóticos para la germinación y plántulas anormales, donde los cultivares Pionera, Conquista y Xingu no tuvieron ninguna disminución de la capacidad de germinación a déficits hídricos de 0, -0,3, -0,6 y -1,2 MPa, sin embargo, Pintado mostró una reducción con un aumento en el déficit hídrico inducido por manitol y a 0 MPa, el cultivar Pintado presentó menor germinación que Pionera.

A -9 y -12 bares la altura de la plántula se redujo



§ Prueba de rangos múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$)
Letras iguales indican similitud estadística

Figura 2. Prueba de rangos múltiples de Duncan para la altura de la plántula (cm) a los 12 días después de la siembra de tres cultivares de maíz (*Zea mays* L.) bajo diferentes potenciales osmóticos creados con manitol. Datos originales.

98,64 y 98,53 %, respectivamente, la longitud de la radícula 95,89 y 98,02 % respectivamente, el número de hojas 64,89 y 75,71 %, respectivamente. Machado Neto *et al* [4] indicaron que la longitud del hipocotilo y de la raíz de cuatro cultivares de soya fueron similarmente afectados por el déficit hídrico inducido por manitol. A 0 MPa, tanto la longitud del hipocotilo como la de la raíz alcanzaron sus valores máximos y todos los otros tratamientos gradualmente redujeron el crecimiento de las plántulas, la longitud del hipocotilo no fue eficiente para permitir la diferenciación entre cultivares, sin embargo, la longitud de la raíz fue superior en el cv. Xingu. Kramer [7] indicó que el primer efecto medible debido al déficit hídrico fue la reducción del crecimiento, causada por la disminución en la expansión celular y el proceso de elongación celular y la síntesis de la pared de carbohidratos fueron muy susceptibles al déficit hídrico y la disminución del crecimiento fue una consecuencia del establecimiento de la turgencia de estas células. Por otra parte, Madueño Molina *et al* [4] indicaron que el efecto del potencial osmótico sobre la longitud de raíz de frijolillo, en cada una de las colectas, fue similar en los dos primeros niveles evaluados (0 y -0,215 MPa creado con manitol). Sin embargo, a partir del nivel de -0,431 MPa existieron diferencias significativas para cada uno de los niveles probados y a partir de un potencial osmótico de -1,077 MPa se inhibió fuertemente la elongación de la raíz y el comportamiento individual de cada una de las tres colectas en el gradiente del potencial osmótico permitió observar que Villa Juárez y El Limón produjeron raíces de tamaño similar en todo el gradiente evaluado, mientras que Pimientillo resultó más afectada por el menor potencial osmótico, mientras que la respuesta de la longitud de vástago fue similar en Villa Juárez y El Limón, con una disminución gradual de crecimiento, hasta el nivel de -0,862 MPa, a partir de este potencial osmótico, el crecimiento disminuyó en más de 50% en estas dos colectas. El comportamiento de Pimientillo fue diferente, ya que, a partir de una presión de -0,646 MPa, el crecimiento se redujo a una tasa mayor que 50%, mientras que con el nivel de -1,724 no hubo crecimiento. Lo anterior es consecuencia de un ajuste osmótico de la planta para mantener un gradiente favorable para la absorción de agua y nutrientes, mecanismo que ocasiona una disminución en el crecimiento.

Tanto el peso del vástago como el de la radícula fueron severamente reducidos a potenciales de -9 y -12 bares, siendo la reducción de 100 % en el peso del vástago para Himeca 2003 y Pioneer 3031, mientras que para el peso de la radícula, la reducción fue del 100 % a -9 bares para Cargill 633 y Pioneer 3031 y a -12 bares para Himeca 2003 y Pioneer 3031, similares resultados fueron reportados por Shiralipour y West [8] quienes señalaron que el estrés de sequía en maíz

creado con una solución 0,2 M de manitol (potencial osmótico de -0,49 MPa) durante cinco días redujo el peso fresco y el peso seco del vástago en 58 y 40 %, respectivamente y Nejad *et al.* [9] encontraron una disminución del peso de las raíces en el cultivo de maíz con disminuciones del contenido de humedad del suelo (100, 75, 50 y 25% de la capacidad de campo). Saidi *et al.* [10] mostraron que el peso seco del vástago y el área foliar fueron significativamente más altos en parcelas a capacidad de campo que en las otras parcelas con un menor contenido de humedad e indicaron que el crecimiento del vástago fue promovido por adecuado suministro de agua en trigo, también encontraron una reducción en el crecimiento de las raíces a menores potenciales de agua e indicaron que esto pudo haber sido causado por la limitación de los carbohidratos, una disminución de la distensión de la pared y un decrecimiento en la conductividad hidráulica de los tejidos. Por otra parte, Mohammadkhani y Heidari [11] establecieron que la restricción de agua actúa disminuyendo los procesos físicos y biológicos y las plántulas a un bajo déficit de agua mostraron un crecimiento débil que condujo a una menor acumulación de materia seca. Finalmente, Jaleel *et al.* [12] revelaron que el estrés hídrico inhibe el alargamiento celular más que la división celular y reduce el crecimiento de las plantas mediante la afectación de los procesos fisiológicos y bioquímicos tales como la fotosíntesis, respiración, translocación, absorción de iones, metabolismo de los carbohidratos y de los nutrientes y los promotores del crecimiento. También el estrés hídrico suprime marcadamente la expansión celular y el crecimiento celular debido a la baja presión de turgencia.

Resultados muy similares a este ensayo fueron reportados más recientemente por Kappes *et al.* [13] quienes evaluaron la germinación y el crecimiento de plántulas de los híbridos de maíz XB 6010, XB 6012, XB 9003 y AG 9010 sometidos a condiciones de estrés hídrico con soluciones de manitol, utilizando cinco niveles de potenciales osmóticos 0,0 (testigo); -0,3; -0,6; -0,9 y -1,2 MPa y encontraron una disminución en el vigor de las semillas y de las plántulas de todos los híbridos a medida que disminuyó el potencial osmótico de la solución, sugiriendo que la reducción fue causada por el déficit de agua, lo cual provoca una pérdida progresiva de la turgencia protoplasmática y un aumento de la concentración de solutos, de estos efectos resulta, inicialmente un trastorno de la función celular y por consiguiente del sistema de las biomembranas.

Así mismo, se encontraron resultados similares entre los dos ensayos para el crecimiento de las plántulas y de las raíces, es decir, la reducción de los potenciales osmóticos causaron una reducción de los valores de la altura de la plántula, longitud de raíces y de los pesos frescos y secos de las plántulas y de las raíces. Esto se debe porque además de que el estrés

hídrico afecta la imbibición y la velocidad de germinación, uno de los otros efectos es una reducción del crecimiento, causada por la disminución de la expansión celular, el proceso de alargamiento celular y la síntesis de la pared son más sensibles al déficit hídrico y una reducción del crecimiento, como consecuencia de la disminución del alargamiento celular sería causada por un decrecimiento de la turgencia de esas células. Adicionalmente, una reducción en la longitud de las plantas se debe a cambios en la turgencia celular, debido a una reducción de la síntesis de proteínas en condiciones de estrés hídrico. Finalmente, una reducción de la biomasa fresca de la plántula en función de la restricción hídrica, cuando se compara con el testigo, puede ser atribuida a una menor velocidad de los procesos fisiológicos y bioquímicos o por la dificultad de la hidrólisis y movilización de las reservas desde las semillas. Un decrecimiento de la absorción de agua por las semillas evidencia nuevamente un efecto perjudicial del déficit hídrico sobre la germinación y vigor de las semillas y sobre el crecimiento de las plántulas de maíz [13].

Es de hacer notar que la germinación con respecto al estrés hídrico estuvo en el orden Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031 para los -6 y -9 bares, pero los cultivares se comportaron de manera parecida a los 0, -3 y -12 bares. En otro estudio similar, Laynez Garsaball *et al.* [14] encontraron que las semillas del híbrido Pioneer 3031 germinaron más en papel absorbente a potenciales de -1,2 MPa pero similares a 0 y -0,6 MPa que aquellas del híbrido Himeca 95 cuando se regaron con soluciones de sacarosa, estos mismos autores [15] reportaron una mayor germinación de Pioneer 3031 a potenciales de -0,6 y -1,2 MPa usando arena como sustrato.

5. Conclusión

Los resultados indican 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. El orden de los cultivares a la tolerancia en este potencial fue Cargill 633, Himeca 2003 y Pioneer 3031. En general, una disminución en el potencial osmótico causó una disminución de la germinación y del crecimiento de las plántulas.

6. Agradecimientos

Al Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, Venezuela.

7. Referencias

- [1] Blum, A. 1979. Genetic improvement of drought resistance in crop plants: a case for sorghum. In: H. Mussel (ed.). Stress physiology in crop plants. John Wiley. New York, NY, USA. pp. 429-445.
- [2] Maldonado, C.; E. Pujado y F. A. Squeo. 2002. El efecto de la disponibilidad de agua durante el crecimiento de *Lycopersicon chilense* sobre la capacidad de sus semillas para germinar a distintas temperaturas y concentraciones de manitol y NaCl. Revista Chilena de Historia Natural 75 (4): 651-660
- [3] Madueño Molina, A.; J. D. García Paredes, J. Martínez Hernández y C. Rubio Torres. 2006. Germinación y crecimiento de frijolillo *Rhynchosia minima* (L.) DC con diferentes potenciales osmóticos. TERRA Latinoamericana 24 (2): 187-192.
- [4] Machado Neto, N. B.; S. Marques Saturnino, D. Carlini BomfimII y C. Castilho Custódio. 2004. Water stress induced by mannitol and sodium chloride in soybean cultivars. Brazilian Archives of Biology and Technology 47 (4): 521-529.
- [5] Salisbury, F. B. and C. W. Ross. 1978. Plant Physiology. Second Edition. Wadsworth Publishing Company, Inc. Belmont, California. p. 18-31.
- [6] Mayer, A. M. and A. Poljakoff Mayber. 1989. The germination of seeds. 4. ed. Pergamon Press. Oxford, United Kingdom.
- [7] Kramer, P. J. 1974. Fifty years of progress in water relations research. Plant Physiology 54 (4): 463-471.
- [8] Shiralipour, A. and S. H. West. 1984. Inhibition of specific protein synthesis in maize seedlings during water stress. Proceedings Soil and Crop Science Society of Florida 43: 102-106.
- [9] Nejad, T. S.; A. Bakhshande, S. B. Nasab and K. Payande. 2010. Effect of drought stress on corn root growth. Report and Opinion 2 (2): 47-52.
- [10] Saidi, A.; T. Ookawa and T. Hirasawa. 2010. Responses of root growth to moderate soil water deficit in wheat seedlings. Plant Prod. Sci. 13(3): 261-268.
- [11] Mohammadkhani, N. and R. Heidari. 2008. Water stress induced by polyethylene glycol 6000 and sodium chloride in two maize cultivars. Pakistan Journal of Biological Sciences 11 (1): 92-97.
- [12] Jaleel, C. A.; P. Manivannan, A. Wahid, M. Farooq, H. J. Al-Juburi, R. Somasundaram and R. Panneerselvam. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture & Biology 11 (1): 100-105.
- [13] Kappes, C.; J. A. de C. Andrade, K. I. Haga, J. P. Ferreira e M. V. Arf. 2010. Germinação, vigor de sementes e crescimento de plântulas de milho sob condições de déficit hídrico. Scientia Agraria 11 (2): 125-134.
- [14] Laynez Garsaball, J. A.; J. R. Méndez Natera, y J. Mayz Figueroa. 2008. Efecto 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. Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 11(1): 26-34.
- [15] Laynez Garsaball, J. A.; J. R. Méndez Natera, y J. Mayz Figueroa. 2007. Germinación de semillas de maíz (*Zea mays*) bajo estrés hídrico simulado. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas 41 (2): 137-291.