

GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE VARIEDADES CRIOLLAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) BAJO DÉFICIT HÍDRICO

GERMINATION OF SEEDS FROM CREOLE MAIZE (*Zea mays* L.) VARIETIES UNDER WATER DEFICIT

Espinosa-Paz, N.¹; Martínez-Sánchez, J.¹; Ariza-Flores, R.²; Cadena- Iñiguez, P.¹; Hernández-Maldonado, M.³; Ramírez-Córdova, A.L.³

¹Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP, km 3 carretera internacional Ocozocoautla-Cintalapa, Ocozocoautla, Chiapas. C.P. 29140. ²Campo Experimental Iguala del INIFAP, Iguala Guerrero. 3UAAAN Centro Académico Regional Chiapas, Cintalapa, Chiapas.
Autor de correspondencia: espinosa.nestor@inifap.gob.mx

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar y seleccionar variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) por tolerancia a la germinación y otras características morfológicas de las plántulas bajo déficit hídrico. Se evaluaron 42 variedades recolectadas en áreas con sequía recurrente en Chiapas, México. El estudio se realizó en el laboratorio de Fisiología Vegetal del Campo Experimental Centro de Chiapas del INIFAP. El déficit hídrico se indujo con Polietileno Glicol PM 8000 (SIGMA) a una concentración de 12.5 g en 100 ml de agua, originando déficit hídrico de -5 barías. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas significativas entre variedades criollas para porcentaje de germinación, longitud de coleoptilo, longitud del mesocótilo y pesos seco total de plántula, bajo déficit hídrico, lo cual indica gran variabilidad genética entre ellas. Se seleccionaron las siguientes variedades criollas: Olotillo, Azul, Amarillo, Tuxpeño, Jarocho y Rocamex, por mayor tolerancia a su germinación y características morfológicas bajo déficit hídrico, mismas que deben usarse en los programas de mejoramiento genético para tolerancia a sequía en la región cálida subhúmeda de Chiapas y de otras regiones con clima similar.

Palabras claves: maíces criollos, velocidad de germinación, estrés, sequía

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate and select Creole maize (*Zea mays* L.) varieties for tolerance to germination and other morphological characteristics of the seedlings under water deficit. Forty-two (42) varieties collected in areas with recurring drought in Chiapas, México, were evaluated. The study was carried out in the Plant Physiology lab of INIFAP's Central Chiapas Experimental Field. The water deficit was induced with polyethylene glycol PM 8000 (SIGMA)

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 9, septiembre, 2017, pp: 41-47.

Recibido: marzo, 2017. **Aceptado:** julio, 2017.

at a concentration of 12.5 g in 100 ml of water, originating a water deficit of -5 baryes. A completely random experimental design with four repetitions was used. The variance analysis detected significant statistical differences between Creole varieties for percentage of germination, length of the coleoptile, length of the mesocotyl, and total dry weight of the seedling, under water deficit, indicating great genetic variability between them. The following Creole varieties were selected: Olotillo, Azul, Amarillo, Tuxpeño, Jarocho and Rocamex, because of their higher tolerance to germination and morphological characteristics under water deficit, which should be used in the programs for genetic improvement for drought tolerance in the sub-humid warm region of Chiapas and other regions with similar climate.

Keywords: creole maize, germination speed, stress, drought.

INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de germinación de las semillas, el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es altamente sensible al déficit hídrico (Espinoza *et al.*, 2015). La germinación y el establecimiento de las plántulas es importante para lograr una buena población de plantas por unidad de superficie, especialmente en aquellos climas donde la disponibilidad de agua en el suelo durante el proceso de germinación está restringida y su efecto sobre el rendimiento puede igualarse al de la sequía intraestival (Biasutti y Galiñanes, 2001). La capacidad de las semillas para germinar en condiciones de poca humedad en el suelo les confiere ventajas ecológicas pues las plántulas se establecen cuando otras especies sensibles al déficit hídrico no lo pueden hacer (Cordero, 1991). De acuerdo a Edmeades *et al.* (1996) la cantidad de agua transpirada, que está directamente relacionada con la biomasa producida, es influida por caracteres que afectan la capacidad de supervivencia, como un alto porcentaje de germinación y la supervivencia de las plántulas bajo sequía. De acuerdo a ello, un ideotipo de maíz tolerante a sequía debe poseer la capacidad de germinar en suelos con poca humedad y presentar alta relación raíz-tallo en el estadio temprano de plántula. El análisis de genotipos seleccionados en ambientes altamente variables y con alta probabilidad de ocurrencia de sequía, podría traer consigo la detección de cambios en ciertas características durante la germinación y crecimiento de la plántula. Estas características podrían ser utilizadas posteriormente como criterios de selección adicionales (Biasutti y Galiñanes, 2001).

Hay poca información científica sobre la reacción de la germinación de las semillas de maíz al potencial de agua (Ψ_A) del sustrato, el Ψ_A del sustrato mínimo requerido para que la germinación se lleve a cabo, la relación y contraste de estos factores en las semillas de los cultivares tolerantes y sensibles a la sequía (Tsoukrianis *et al.*, 2009). Esta información puede ayudar a hacer más eficiente la selección y mejoramiento de cultivares tolerantes a la sequía, por la reducción significativa del tiempo requerido y la cantidad de cultivares que podrían ser evaluados en poco tiempo. La utilización de metodologías encaminadas a buscar resistencia y/o tolerancia a condiciones adversas de los suelos (sequía, salinidad, acidez, etcétera) en los programas de mejora-

miento deben ser fáciles y rápidas de ejecutar y desde el punto de vista económico deben ser baratas, todo esto bajo la premisa de que sean confiables y precisas. Para evaluar la resistencia al estrés hídrico o sequía se han propuesto numerosas técnicas entre las más utilizadas por el poco espacio que ocupan y la facilidad de ejecución aunado a bajos costos está el empleo de soluciones osmóticas que disminuyen el potencial de agua, estas ventajas permiten evaluar una gran cantidad de genotipos en poco espacio y en un menor tiempo (Méndez *et al.*, 2010b).

Respecto al efecto del déficit hídrico en el proceso de la germinación de las semillas de maíz, Aguilar (2011), al comparar genotipos tolerantes y no tolerantes a la sequía, encontró que la fase de la imbibición es la que se retrasa, debido a que se retrasa el proceso de ósmosis al aumentar el déficit hídrico, siendo más marcado este retraso en los genotipos no tolerantes. El primer proceso que se afecta por el déficit hídrico es el crecimiento, el cual se inicia con la germinación de las semillas que comprende las fases de imbibición, metabolismo e inicio del crecimiento de las estructuras que se encuentran en el embrión (Espinoza *et al.*, 2015). En el estado de Chiapas, México, se estima que 75% de la superficie sembrada con maíz es con variedades criollas y que se pueden encontrar hasta 18 razas de las 63 que existen en México (Martínez *et al.*, 2015), además existen generaciones avanzadas de genotipos mejorados (Ortega *et al.*, 2013; Coutiño *et al.*, 2015). Las variedades criollas que conservan los productores han persistido por cientos de años bajo condiciones de déficit hídrico en campo, por lo que se asume que

poseen genes que le confieren tolerancia a este factor, para lograr un rendimiento de grano y consecuentemente, su sobrevivencia (Márquez *et al.*, 2009). Hellin *et al.* (2014) discuten la posibilidad de que existan poblaciones de maíz criollo que son apropiadas de incluir en las estrategias de adaptación al cambio climático en zonas con grandes periodos de sequía. Además, poseen gran diversidad genética que puede usarse en los programas de mejoramiento genético para resistencia a sequía (Martínez *et al.*, 2015). Con base en lo anterior, se evaluaron variedades criollas de maíz recolectadas en 2015 en áreas con sequía intraestival recurrente en la Depresión Central de Chiapas por su tolerancia a la germinación y otras características morfológicas de las plántulas bajo déficit hídrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló durante los meses de junio y julio de 2015, bajo condiciones de laboratorio. Se utilizaron semillas de 42 variedades criollas de maíz recolectadas en los municipios de Villa Flores, Suchiapa, Ocozocoautla, Cintalapa e Ixtapa, ubicados en la Depresión Central de Chiapas y con sequías recurrentes. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. Se tuvieron 168 unidades experimentales (UE). Cada UE estuvo constituida por un recipiente de plástico transparente con tapa y capacidad de 250 g. El número de semillas por unidad experimental fue de 100 para aquellas variedades que tenían 100% de germinación, cuando ésta fue menor se hizo el ajuste correspondiente. Las semillas de cada variedad desde su recolecta, se mantuvieron en un cuarto a temperatura de 18 °C para mantener su viabilidad y protegerlas

de plagas de almacén. Para el estudio se seleccionaron semillas que no presentaran algún daño físico o daños por hongos.

Antes de establecer el experimento, se analizó el porcentaje de germinación usando 100 semillas de cada una de las 42 variedades, sumergiéndolas por 15 minutos en una solución de hipoclorito al 15% y después se colocaron en recipientes de plástico con toallitas de papel y se les agregó agua destilada. Dependiendo de estos resultados se hizo el ajuste del número de semillas por unidad experimental. En cada unidad experimental (UE) se colocaron 100 semillas o más dependiendo del porcentaje de germinación que mostró cada variedad en el ensayo de germinación hecho previo al establecimiento del experimento. En cada UE se colocó una toallita de papel absorbente. En seguida semillas las cuales previamente fueron lavadas con una solución de hipoclorito (Merk) y después sumergidas por 10 minutos en una solución con fungicida Benomil (Merk). Posteriormente se les agregó 15 mililitros de la solución de polietilenglicol 8000 (PEG) (Sigma) en concentración de 12.5 (12.5 g 100 ml⁻¹ de agua destilada) que generó una presión osmótica de -5 barias (Espinosa *et al.*, 2015). El PEG es una sustancia inerte usada para simular el déficit hídrico

en la germinación de semillas en el laboratorio (Méndez *et al.*, 2010 a) Se cuantificó el número de semillas germinadas (emergencia de la radícula y coleoptilo) cada 24 horas, el porcentaje de germinación final, longitud del coleoptilo (cm), longitud de la radícula (cm), longitud del mesocótilo (cm), número de raíces seminales y peso seco total por plántula (g). Para cada variable se hizo un análisis de varianza (ANAVA) usando el modelo estadístico del diseño completamente al azar y en caso de diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (variedades) se hizo la prueba de comparación de medias de rango múltiple con el método de Tukey $p \leq 0.05$, usando el paquete estadístico SAS V.9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ANAVA detectó diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$) para el porcentaje de germinación, longitud del coleoptilo, longitud del mesocótilo y longitud de la radícula (Cuadro 1), no así para el número de raíces seminales. Lo anterior muestra variabilidad genética entre las variedades criollas de Chiapas, tal como lo señalan Martínez *et al.* (2015), la cual debe aprovecharse en los programas de mejoramiento genético fisiológico para tolerancia a la sequía en maíz como lo señalan Hellin *et al.* (2014).

Cuadro 1. Cuadrados medios, medias, coeficientes de variación y significancia estadística de variables analizadas de las variedades criollas de *Zea mays* L. 2015.

Variables	C.M	Medias	C.V (%)	Significancia
Germinación (%)	359.8	78.6	12.57	**
Longitud del coleoptilo (cm)	1.3	3.5	21.7	**
Longitud de la radícula (cm)	15.8	6.6	18.86	**
Longitud del mesocótilo (cm)	0.2	1	30.59	**
N° de raíces seminales	2.2	6.9	25.1	n.s.
Peso seco total (g)	0.02	0.7	12.57	**

** Altamente significativo ($p \leq 0.01$); n.s. no significativo ($p \leq 0.05$).

Cuadro 2. Porcentaje de germinación y características morfológicas de plántulas de genotipos criollos de maíz *Zea mays* L., bajo déficit hídrico.

Genotipos	Germinación (%)		Longitud (cm)						Peso seco (gr)	
			Coleoptilo		Radicula		Mesocotilo			
Jarocho G.V.	30.25	ab	2.73	bcd	6.55	bcdefghi	0.73	bcde	0.63	abc
Jarocho A.M.	30.25	ab	3.6	abcd	2.48	l	0.78	bcde	0.5	bc
Tuxpeño	30.25	ab	2.9	bcd	9.05	abc	0.6	bcde	0.73	ab
Tuxpeño blanco	42.25	ab	3.9	abc	7.03	bcdefg	0.95	abcde	0.78	a
Morado	39.69	ab	4.15	abc	3.65	hijkl	1.33	abc	0.6	abc
Secentano	49	ab	3.08	bcd	6.83	abcdeghi	0.83	bcde	0.63	abc
Napulu amarillo 1	46.24	ab	4.23	ab	6.3	bcdefghij	1.25	abcde	0.73	ab
Jarocho amarillo	36	ab	3.53	abcd	6.68	bcdefghi	0.8	bcde	0.73	ab
Napulu Amarillo 2	39.69	ab	3.5	abcd	8.05	abcdef	0.93	abcde	0.75	a
Jarocho G.V. 1	36	ab	3.45	abcd	5.43	fghijkl	0.83	bcde	0.63	abc
Rojo Criollo	56.25	ab	5.15	a	10	a	1.68	a	0.65	abc
Chimbo Amarillo	42.25	ab	3.45	abcd	8.8	abcd	1	abcde	0.78	a
Olotillo Blanco S.	30.25	ab	2.78	bcd	5.43	efghijkl	0.75	bcde	0.73	ab
Americano	30.25	ab	3.38	abcd	6.53	bcdefghi	0.75	bcde	0.65	abc
Napulu	30.25	ab	2.78	bcd	6.9	bcdefgh	0.65	bcde	0.7	ab
Precos	46.24	ab	2.75	bcd	8.55	abcde	0.65	bcde	0.68	abc
Comiteco amarillo	53.29	ab	3.38	abcd	6.33	bcdefghij	1.08	abcde	0.73	ab
Criollo rocame	39.69	ab	3.15	bcd	7	bcdefgh	1.3	abcd	0.7	ab
Oloton Z.	46.24	ab	3.6	abcd	7.93	abcdef	0.88	bcde	0.7	ab
Tuxpeño Z.	49	ab	4.08	abc	7.83	abcdef	1.08	abcde	0.68	abc
Criollo Ixtapa	46.24	ab	3.08	bcd	2.98	jkl	1.03	abcde	0.73	ab
Oloton M.	33.64	ab	2.23	cd	5.68	defghijk	0.58	cde	0.65	abc
Olotillo Blanco T.B.	28.09	b	2.28	bcd	5.65	defghijk	0.55	de	0.63	abc
Oloton T.B.	28.09	b	1.9	d	7	bcdefgh	0.5	e	0.68	abc
Olotillo Amarillo	49	ab	3	bcd	5.48	defghijkl	0.95	abcde	0.6	abc
Blanco N.1	42.25	ab	2.75	bcd	3.83	ghijkl	0.65	bcde	0.63	abc
Amarillo N.1	53.29	ab	3	bcd	4.73	fghijkl	0.65	bcde	0.6	abc
Amarillo N.2	30.25	ab	3	bcd	2.15	l	0.55	de	0.45	c
Blanco N.2	42.25	ab	3.08	bcd	6.15	bcdefghij	0.88	bcde	0.75	a
Criollo N.	49	ab	4.05	abc	6.35	bcdefghi	0.9	bcde	0.68	abc
Criollo Crema	33.64	ab	3.03	bcd	6.33	bcdefghij	0.8	bcde	0.73	ab
Rocamex	42.25	ab	2.85	bcd	5.98	cdefghij	0.8	bcde	0.7	ab
Blanco C.O.	42.25	ab	3.18	bcd	5.13	fghijkl	0.78	bcde	0.68	abc
Olotillo	56.25	ab	3.43	abcd	7.9	abcdef	1.03	abcde	0.63	abc
Tuxpeño	39.69	ab	3.38	abcd	8.63	abcde	0.78	bcde	0.58	abc
Olotillo Blanco	60.84	a	3.55	abcd	9.38	ab	1.35	ab	0.78	a
Dientilla	49	ab	2.7	bcd	6.23	bcdefghij	0.68	bcde	0.55	abc
Opamil	39.69	ab	2.8	bcd	8.8	abcd	0.7	bcde	0.63	abc
Poblano	46.24	ab	3.35	abcd	5.83	cdefghijk	0.9	bcde	0.63	abc
Americano V.	46.24	ab	2.73	bcd	4.15	ghijkl	1.03	abcde	0.58	abc
Blanco A.M.	36	ab	2.25	cd	5.55	defghijk	0.58	cde	0.55	abc
Criollo Amarillo	46.24	ab	3.55	abcd	3.48	ijkl	0.93	abcde	0.7	ab
C.V.	12.57		21.7		18.86		30.59		12.57	

Media en columna con la misma letra es estadísticamente igual Tukey $p \leq 0.05$.

La velocidad de emergencia de la radícula y coleoptilo de la semilla de las 42 variedades criollas fue monitoreada durante los días siguientes al establecimiento del experimento iniciando a las 72 horas después. El ANAVA mostró diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre las variedades en el número de coleoptilos emergidos a las 72, 94, 120 y 144 horas después de establecido el experimento. Las variedades Criollo Olotillo, Criollo Azul y el Criollo Olotillo Blanco mostraron mayor número de coleoptilos emergidos a las 72, 96 y 120 horas después de establecido el experimento. A las 144 horas sobresalieron las variedades Olotillo Blanco, Olotillo y Criollo Amarillo. En todos los casos sobresalieron las variedades criollas de la raza olotillo. La importancia de una germinación más rápida radica en que la semilla no está expuesta mucho tiempo en el campo y no es atacada por insectos plaga, y además tenga problemas en su germinación por la ausencia de lluvias que pueda ocurrir inmediatamente después de la siembra en campo. Se supone que las semillas de estas variedades sobresalientes no fueron afectadas en su proceso de imbibición y consecuentemente el inicio del crecimiento de las estructuras del embrión por efecto del déficit hídrico. Se asume que esta característica la han adquirido por evolución y adaptación a las áreas con sequía recurrente. Debe interpretarse que también existe variabilidad entre las semillas del mismo genotipo por tratarse de variantes criollas que se han mantenido por polinización libre. La velocidad de emergencia del coleoptilo y de la radícula puede estar asociada con el vigor y la edad de la semilla, aunque también con la precocidad de la planta. Los resultados obtenidos muestran que las semillas de estas variedades están adaptadas al estrés hídrico debido a que el productor las ha seleccionado y conservado bajo condiciones de temporal (lluvias) y en áreas con sequías recurrentes y sin acceso al riego. Por tanto, la importancia agronómica de la velocidad de la germinación radica en que en suelos que retienen poca humedad y cuando la precipitación es errática, se requiere que la semilla no permanezca mucho tiempo en el suelo y que el crecimiento del embrión no sea afectado por el déficit hídrico, por ser este proceso fisiológico el más susceptible al estrés hídrico (Espinosa *et al.*, 2015).

Porcentaje de germinación

El ANAVA mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre variedades por su tolerancia a la germinación bajo déficit hídrico (Cuadro 1). Los resultados de las 12 variedades más sobresalientes y de aquella con menor porcentaje de germinación variaron de 28.09 a 60.84%. Las variedades Olotillo y Tuxpeño fueron las más sobresalientes con un 60.84% de germinación, por lo que se asume que tienen genes de tolerancia al déficit hídrico que deben aprovecharse en un programa de mejoramiento genético y fisiológico de la planta de maíz para tolerancia al estrés hídrico, tal como lo sugieren Márquez *et al.* (2009), Hellin *et al.* (2014) y Martínez *et al.* (2015). La capacidad de las semillas para germinar en suelos con poca humedad es un atributo que posee un genotipo tolerante al déficit hídrico (Edmeades *et al.*, 1994) y que debe aprovecharse para localidades donde el temporal (lluvias) se establece de manera irregular (Espinosa *et al.*, 2015). Ante las adversidades del cambio climático, los estudios sobre uso y manejo del agua por las plantas es prioritario para dar soluciones a los productores, debido a que en el estado de Chiapas más del 75% de la superficie sembrada con maíz se realiza

bajo condiciones de temporal (Martínez *et al.*, 2015). La germinación de semillas bajo déficit hídrico bajo condiciones de laboratorio permite en los programas de mejoramiento genético de los cultivos evaluar muchos genotipos en poco espacio, poco tiempo y es una metodología barata, tal como lo señalan Ospina *et al.* (2013).

El ANAVA mostró diferencia estadística significativa, y fueron 12 variedades sobresalientes por su mayor porcentaje de germinación, y las variantes con mayor longitud del coleoptilo fueron Tuxpeño, Azul y Jarrocho. Esta estructura es primordial para la planta de maíz porque es la que emerge hacia la superficie del suelo para que la planta exponga sus hojas a la luz y empiece a realizar el proceso de fotosíntesis y promueva el crecimiento del tallo, hoja y raíz, ya que la semilla contiene pocas reservas alimenticias (Bidwell, 1990). Cuando la semilla se siembra en el suelo a una profundidad mayor de 10 cm, el coleoptilo debe tener la capacidad de crecer para lograr su emergencia del suelo, en su defecto la planta muere por asfixia. Las paredes de las células que forman el coleoptilo son de paredes gruesas y con lignina para darle mayor consistencia y éste pueda romper las capas duras de suelo sobre todos aquellos de textura arcillosa y lograr la emergencia de la plántula (Espinosa *et al.*, 2015). Esta es una de las razones por la que la plántula de maíz emerge de profundidades mayores de 10 centímetros como ocurre con las variedades de maíz criolla "cajete" que se siembra a una profundidad de 20 centímetros en la región Mixteca Alta del estado de Oaxaca, México (Espinosa, 1995), o en el sistema "pul-ha" de la meseta comiteca en Chiapas.



Bajo condiciones de campo, la longitud del coleoptilo tiene mayor importancia, que cuando las semillas germinan en condiciones de laboratorio, debido a que no presentan el fenómeno de emergencia. Parece ser que a una mayor profundidad de siembra corresponde mayor longitud del coleoptilo y mesocótilo en las variedades tolerantes a la sequía. El primer proceso fisiológico afectado por el déficit hídrico en la célula vegetal, es su crecimiento o división celular (incremento en número), debido a que la principal función del agua en las células es mantener su turgencia y ésta promueve el crecimiento de la planta (Aspinall *et al.*, 1994). Por lo tanto, medir el crecimiento (longitud) del coleoptilo bajo condiciones de déficit hídrico es primordial en la selección de variedades.

Respecto a longitud del mesocótilo (Cuadro 1), existieron diferencia estadística significativa entre las 42 variedades resaltando Olotillo Blanco y Rocamex, con valores de 1.3 cm. Estos resultados son de menor magnitud que a los reportados por Gómez (2000) donde la mayor longitud del mesocótilo fue de 4 cm en una variedad experimental con tolerancia a sequía. Lo anterior se explica porque esta autora estudió una variedad en proceso de mejoramiento genético para tolerancia a sequía mientras que, en este estudio, las variedades fueron criollas. Sin embargo, dado que también las variantes Olotillo Blanco y Rocamex, presentaron tolerancia a la germinación de sus semillas bajo presión osmótica (Espinosa *et al.*, 2015), es de suponerse que tienen genes de tolerancia a la sequía, que mediante un mejoramiento genético se puede incrementar (Martínez *et al.*, 2015).

La siembra profunda es un sistema tradicional utilizado en zonas áridas o de baja precipitación pluvial y su éxito depende de tres factores: humedad residual del suelo, técnicas agrícolas adecuadas y variedades de maíz con la capacidad de emerger cuando son sembradas a profundidad debido a la elongación del mesocótilo (Cruz y Sotelo, 2015). Estos mismos autores concluyen que es probable que el factor principal que ha influido sobre la adquisición de una mayor o menor capacidad de desarrollo longitudinal del mesocótilo ha sido la temperatura ambiente de las diferentes zonas de altitud. El mesocótilo es un órgano especializado que existe en las plantas de maíz y el resto de la familia de las gramíneas, que por su ubicación se identifica como la parte del eje principal que conecta la semilla con la plúmula envuelta por el coleoptilo y juega un papel importante en la emergen-

cia de la plántula del maíz, ya que su principal función es empujar hacia la superficie del suelo al coleoptilo y tiene una gran plasticidad sobre la tasa de crecimiento y la longitud a que llega (Paliwal, 2001). Por ejemplo, Espinosa (1995) menciona que las variedades criollas de maíz "cajete" cultivadas en la región de la Mixteca Alta de Oaxaca, sus semillas se siembran a una profundidad de 20 centímetros en humedad residual del suelo y su mesocótilo alcanza una longitud de hasta de 18 centímetros. Maiti y Carrillo (1989), mencionan que la longitud del mesocótilo es una característica que puede ser utilizada como criterio de selección en el mejoramiento genético para lograr una alta emergencia de plántulas y para estudiar el comportamiento de los genotipos bajo diferentes condiciones de estrés y en su crecimiento en etapas adultas. Las variedades clasificadas por Tukey en los grupos a y b coinciden con las variedades de mayor peso seco total de plántula, lo que sugiere que a mayor longitud de mesocótilo, mayor rapidez de crecimiento del coleoptilo, tal como lo manifiestan Maiti y Carrillo (1989).

Referente a la germinación, hubo diferencias significativas, (Cuadro 1), sobresaliendo por su porcentaje de germinación, bajo déficit hídrico, el criollo Olotillo Blanco que registró la mayor longitud de la radícula (9.3 cm). La radícula tiene la función de absorber agua y nutrientes para que el coleoptilo crezca en los primeros días del desarrollo de la plántula de maíz durante los primeros 30 días de su desarrollo, ya que después de este tiempo, el sistema radical verdadero se forma en los primeros nudos del tallo. Por lo tanto, las variedades que logran un crecimiento rápido de su radícula bajo déficit hídrico, sugieren tener cierto nivel de tolerancia, y en un suelo con bajo potencial hídrico durante los primeros días del desarrollo de la planta de maíz, es sumamente importante. Los tratamientos pertenecientes a los grupos ab (Tukey $p \leq 0.05$), se consideraron como los de mayor tolerancia al déficit hídrico inducido por un estrés de -5 barías, esta tolerancia es debido al resultado de cientos de años de especialización adaptativa.

Para el peso seco total de plántula, el ANAVA mostró diferencia estadística altamente significativa ($p \leq 0.01$) para peso seco total de plántula (Cuadro 1). Sobresalieron los criollos Olotillo Blanco y Criollo Blanco con 0.77 y 0.75 g respectivamente. Las variedades Criollo Amarillo y Criollo Rocamex fueron clasificadas en el grupo ab (Tukey $p \leq 0.01$) con un peso total de 0.70 g, seguido por Tuxpeño, Azul, Blanco Olotillo, Poblano, Amarillo y Oloti-

llo Amarillo, ordenados en el grupo abc, con una media de entre 0.67 y 0.60 g. El primer proceso que se afecta por el déficit hídrico es el crecimiento (Bidwell, 1990; Espinosa et al., 2015), por lo tanto, las variedades que presentan un mayor crecimiento expresado en peso seco total de la planta, se consideran tolerantes al déficit hídrico, lo que sugiere mayor capacidad de la planta para acumular materia seca y consecuentemente mayor velocidad de crecimiento.

CONCLUSIÓN

Las mejores variantes criollas fueron Olotillo, Azul, Amarillo, Tuxpeño, Jarocho y Rocamex, por haber mostrado mayor tolerancia a la germinación y características morfológicas bajo déficit hídrico, mismas que se recomiendan usar en los programas de mejoramiento genético para tolerancia a sequía en la región cálida subhúmeda del estado de Chiapas y de otras regiones con clima similar.

AGRADECIMIENTOS

Al INIFAP por el financiamiento del proyecto: Generación de tecnologías para mitigar los efectos de la sequía intraestival en los cultivos estratégicos (maíz, frijol y trigo) en el Sur Sureste de México. Núm. SIGI: 1131532897 del cual formó parte esta investigación.

LITERATURA CITADA

Aguilar B.G. 2011. Efecto de la aplicación de vermicomposta en la mitigación del estrés hídrico en plantas C3 y C4. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo Estado de México. 145 p.

Aspinall D.P., Nicholls B., May L.H. 1994. Effects of soil moisture stress on the growth of barley. 1. Vegetative development and grain yield. *Agric. Res.* 3 (4): 115-119.

Biasutti C.A., Galiñanes V.A. 2001. Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) bajo estrés hídrico.

Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento en campo. *Agriscientia*. Vol. XVIII. 37-44.

Bidwell R.G.S. 1990. Fisiología vegetal. Trad. del inglés por Guadalupe Gerónimo Cano y Cano. AGT Editor. México, D. F. 784 p. (1): 107-110.

Cordero S.R.A. 1991. Efecto de estrés osmótico sobre la germinación de semillas de *Tecoma stans* (Bignoniaceae). *Rev. Biol. Trop.* 39 (1): 107-110.

Coutiño E.B., Vidal M.V.A., Cruz V.C., Gómez G.M. 2015. Características eloteras y de grano de variedades nativas de maíz de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(5):119-127.

Cruz S.C.A., Sotelo J.N. 2015. Estudio de la elongación del mesocótilo en variedades de maíces nativos, teocintles y *Tripsacum*. VI Reunión nacional de maíces nativos. *Acta Fitogenética*. Vol 2 (1): 73.

Edmeades G.O., Lafitte H.R., Bolaños J., Chapman S.C., Bazinger M., Deutsch J.A. 1994. Developing maize that tolerates drought or low nitrogen conditions. *In: G.O. Edmeades & J.A. Deutsch* (Eds.) *Stress tolerance breeding: Maize that resist insects, drought, low nitrogen and acid soils*. CIMMYT, México, D.F. México. Pp 21-84.

Edmeades G.O., Bolaños J., Chapman S.C. 1996. Value of secondary traits in electing for drought tolerance in tropical maize. pp. 426-432. *In: G.O. Edmeades, M. Bänziger, H.R. Mickelson and C.B. Peña-Valdivia* (Eds.). *Development drought and low nitrogen tolerant maize*. CIMMYT, El Batán, México.

Espinosa P.N. 1995. Comportamiento morfológico, anatómico y fisiológico de variedades de maíz cultivadas en tres agrosistemas bajo deficiencia hídrica en la Mixteca Alta de Oaxaca. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de postgraduados. Montecillo, Estado de México.

Espinosa P.N., Martínez S.J., Santos T.S.A., Cadena I. P. 2015. Selección de variedades nativas de maíz (*Zea mays* L.) por su tolerancia a la germinación bajo presión osmótica. VI. Reunión Nacional de maíces nativos. *Acta Fitogenética*. Vol. 2 (1): 4.

Gardner R.S. 1991. *Soil Physics*. John Wiley & Sons. New York. 328 p.

Gómez A.C.E. 2000. Germinación de semillas y vigor de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo presión osmótica. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 112 p.

Hellin J., Bellon M.R., Hearne S.J. 2014. Maize landraces and adaptation to climate change in Mexico. *Journal of Crop Improvement*. 28 (4):484-501.

Maiti R.K., de J. Carrillo G.M. 1989. Effect of planting depth on seedling emergence and vigor in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Seed Sci. Technol.* 17(1):83-90.

Márquez S.F., Sahagún C.L., Barrera G.E. 2009. Nuevo método de mejoramiento genético para resistencia a sequía en maíz. Universidad Autónoma Chapingo. Mimeógrafo.

Martínez S.J., Espinosa P.N., Villegas A.Y. 2015. Interacción genotipo-ambiente de poblaciones de maíz nativo de Chiapas. *Revista Mexicana de Agrosistemas*. Vol. 3 (1): 36-48.

Méndez N.J., Ybarra P.F., Merazo P.J. 2010 a. Germinación y Desarrollo de Plántulas de Tres Híbridos de Maíz bajo Soluciones Osmóticas. V. Polietilenglicol. *Revista Tecnológica ESPOL-RTE*. Vol. 23. No. 1: 49-54.

Méndez N.J., Ybarra P.F., Merazo P.J. 2010 b. Germinación y Desarrollo de Plántulas de Tres Híbridos de Maíz bajo Soluciones Osmóticas. VI. Comparación entre cinco soluciones osmóticas. *Revista Tecnológica ESPOL-RTE*. Vol. 23No. 1: 55-60.

Muñoz O.A., Pérez G.J., López P.A., Salvador R.J. 1991. Maíz de cajete: agrosistema y resistencia a sequía. *In: Antología sobre Pequeño Riego*, Vol. III. *Sistemas de Riego no Convencionales*. J Palerm (ed). Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. pp: 137-164.

Ortega C.A., Herrera H.M.J., Preciado O.R. 2013. Diversidad y distribución del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico. Núm. 7. 263 p.

Ospina V.J.P., López M.N., Guzmán P.O.A. 2013. Efecto del potencial hídrico en la germinación de semillas de trigo (*Triticum* spp) con tolerancia y sensibilidad a la sequía. *Agron.* 21(1):37-47.

Paliwal N.S. 2001. Maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Edit.1. Agriculture and consumer protection department, FAO. 33p.

Tsougkrianis N., Peña-Valdivia, C.B., Trejo-López C., Molina-Galán, J.D. 2009. El potencial de agua del sustrato en la germinación de maíces con tolerancia y sensibilidad a la sequía. *Agricultura técnica en México*. Vol. 35 Núm. 4: 363-369.