

## Nota técnica

# Polietilenglicol 8000 para identificar maíz tolerante al estrés hídrico durante la germinación<sup>1</sup>

## Polyethylene glycol 8000 to identify corn tolerant to water stress during germination

María Alma Rangel-Fajardo<sup>2</sup>, Noel Gómez-Montiel<sup>3</sup>, Jorge Ismael Tucuch-Haas<sup>2</sup>, Dianelly de la Cruz Basto-Barbudo<sup>4</sup>, Antonio Villalobos-González<sup>5</sup>, Johnny Abraham Burgos-Díaz<sup>2</sup>

- <sup>1</sup> Recibido: 7 de agosto, 2018. Aceptado: 8 de octubre, 2018. Este trabajo formó parte de los resultados obtenidos del proyecto “Respuesta agronómica y postcosecha de variedades e híbridos, generados por INIFAP, para su impulso en la Península de Yucatán”, financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México.
- <sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional Sureste (CIRSE). Campo Experimental Mococho. km 25 Antigua carretera Mérida-Motul. CP. 97454. Tel. 5538718700 ext. 88216. [rangel.alma@inifap.gob.mx](mailto:rangel.alma@inifap.gob.mx) (autor para correspondencia); <https://orcid.org/0000-0003-4780-3671>; [tucuch.jorge@inifap.gob.mx](mailto:tucuch.jorge@inifap.gob.mx); [burgos.abraham@inifap.gob.mx](mailto:burgos.abraham@inifap.gob.mx)
- <sup>3</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional Pacífico Sur (CIRPAS). Campo Experimental Iguala. Carretera Iguala - Tuxpan Km. 2.5, Tuxpan, Iguala de la Independencia, Guerrero, México CP. 40000. 01 800 088 2222 ext. 86511. [gomez.noel@inifap.gob.mx](mailto:gomez.noel@inifap.gob.mx)
- <sup>4</sup> Instituto Tecnológico de Conkal. Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán, C.P. 97345; Conkal, Yucatán, México. [bastosdianelly@gmail.com](mailto:bastosdianelly@gmail.com)
- <sup>5</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional Sureste (CIRSE). Campo Experimental Edzna. Carr. Km 5, China 15, Solidaridad Urbana, 24060 Campeche, Camp., México. [villalobos.antonio@inifap.gob.mx](mailto:villalobos.antonio@inifap.gob.mx)

## Resumen

**Introducción.** La disponibilidad de agua para la producción agrícola es esencial. La producción de maíz, sujeta al periodo de lluvias, en México supera el 70%. En las regiones agrícolas de la península de Yucatán se reportan producciones en condiciones de bajas precipitaciones o muy erráticas, que pueden provocar pérdidas totales. Una condición crítica para el establecimiento de un cultivo es contar con la humedad necesaria que permita la germinación.

**Objetivo.** El objetivo del presente trabajo fue evaluar materiales de maíz bajo condiciones de estrés hídrico simulado por medio de soluciones osmóticas con la finalidad de identificar los que toleren estas condiciones. **Materiales y métodos.** El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental Mococho del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, durante el 2017; abarcó la fase de germinación y establecimiento. Se emplearon veinticinco materiales de maíz bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Se realizó una prueba de germinación bajo dos condiciones de estrés simulado por medio de PEG 8000 (-0,5 y -0,75 MPa), además se empleó un testigo (0 MPa). Se realizaron cuatro repeticiones de veinticinco semillas cada una. Las semillas se expusieron por 24 h al PEG 8000, posteriormente, se hicieron riegos con agua destilada. Se realizaron conteos de las semillas germinadas al séptimo día y se reportó como porcentaje de germinación. En una muestra de diez plántulas de cada repetición, se midió la longitud y el peso, por separado, de la parte aérea y la raíz. **Resultados.** De los materiales evaluados los híbridos H-563, H-565 y H-568 soportaron estrés de -0,5 MPa, y el H-520, H-567 y HEV3B presentaron germinación con -0,75 MPa y resaltaron en todas las variables evaluadas. **Conclusión.** Es posible identificar materiales que toleraran las condiciones de estrés durante la etapa de germinación.

**Palabras clave:** estación lluviosa, imbibición de semillas, osmolaridad, plántulas, sequía.



## Abstract

**Introduction.** The availability of water for agricultural production is essential. The production of corn, subject to the rainy season, in Mexico exceeds 70%. In the agricultural regions of the Yucatan, productions are reported in conditions of low rainfall or very erratic precipitation, which can cause total losses. A critical condition for the establishment of a crop is to have the necessary humidity that allows germination. **Objective.** The aim of the present work was to evaluate maize materials under simulated water stress conditions through osmotic solutions in order to identify those that can tolerate these conditions. **Materials and methods.** The study was carried out in the Campo Experimental Mococho of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, during 2017; including the germination and establishment phase. Twenty-five maize materials were used under a completely random design with a factorial arrangement. A germination test was performed under simulated two stress conditions by means of the PEG 8000 (-0.50 and -0.75 MPa), also a control (0 MPa) was used. Four replicates of twenty-five seeds were done. The seeds were exposed for 24 h to the PEG 8000, subsequent, irrigations were done with distilled water. The seeds were exposed for 24 h to PEG 8000, later, the seeds were irrigated with distilled water. The germinated seeds were counted on the seventh day and reported as germination percentage. In a sample, of ten seedlings of each repetition, length and weight were measured, separately, from the aerial part and the root. **Results.** From the evaluated materials, the hybrids H-563, H-565 and H-568 endured a stress of -0.5 MPa, and the H-520, H-567 and HEV3B hybrids presented germination with -0.75 MPa and stood out in all the variables evaluated. **Conclusion.** It is possible to identify materials that will tolerate stress conditions during the germination stage.

**Keywords:** drought, osmolarity, rainy season, seed filling, seedlings.

## Introducción

La disponibilidad de agua durante el establecimiento de los cultivos es esencial, de ella dependerá en gran parte el éxito del cultivo. La germinación de las semillas es el inicio de un ciclo de cultivo exitoso, esta etapa depende de la calidad de la semilla y de las condiciones de humedad presentes en el suelo durante la siembra (González et al., 2007), ya que de ella depende que se inicie la imbibición y, consecuentemente, la activación de procesos metabólicos, como rehidratación, mecanismos de reparación (membranas, proteínas y ADN), elongación celular y aparición de la radícula (Dubreucq et al., 2000). Existen diversos estudios referentes a la tolerancia a sequía, sin embargo, se enfocan en las etapas de desarrollo y reproducción de los cultivos, sin tomar en cuenta el proceso inicial de todo ciclo de cultivo, la germinación.

La eficiencia de las semillas al germinar bajo condiciones estresantes de humedad, puede usarse como indicador de tolerancia a sequía (Méndez et al., 2010). Rangel-Fajardo et al. (2014) reportaron que la cantidad de agua necesaria para la germinación en maíz es cambiante hasta dentro de lotes de semilla homogéneos, sin embargo, se concluyó que es necesario aproximadamente 300 gH<sub>2</sub>O/kg de agua en la semilla o de 500 gH<sub>2</sub>O/kg en el embrión, para que se dé la germinación en sentido estricto. Durante el establecimiento del cultivo, se presenta la germinación, esta etapa es la primera exigencia de humedad, ya que, si no se cuenta con la suficiente agua disponible en el suelo, el establecimiento del cultivo será heterogéneo y en consecuencia, se contará con baja densidad y bajos rendimientos (Eskandari, 2013). La respuesta de las semillas a germinar bajo condiciones de estrés hídrico puede ser un indicador de la tolerancia a la sequía de esas plantas (Méndez et al., 2010). Sin embargo, pueden presentarse gradientes de tolerancia o sensibilidad dentro de las especies y hasta entre genotipos (González-Núñez, 2002). El objetivo del presente trabajo fue evaluar materiales de maíz bajo condiciones de estrés hídrico simulado por medio de soluciones osmóticas con la finalidad de identificar los que toleren estas condiciones.

## Materiales y métodos

### Material vegetal

Se utilizaron veinticinco materiales de maíz, variedades, híbridos y materiales avanzados provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícola y Pecuarías (INIFAP) (Cuadro 1). Toda la semilla empleada se produjo en los Campos Experimentales de Iguala Guerrero y Cotaxtla, Veracruz, México, durante el periodo otoño-invierno 2016, y las evaluaciones se realizaron durante el año 2017.

**Cuadro 1.** Materiales de maíz empleados en la evaluación de las semillas bajo condiciones de estrés hídrico simulado por medio de soluciones osmóticas. Yucatan, México. 2017.

**Table 1.** Corn materials used in the evaluation of seeds under simulated water stress conditions through osmotic solutions. Yucatán, México. 2017.

Número de identificación	Nombre del material	Tipo de material
1	H-516	Híbrido
2	H-562	Híbrido
3	H-563	Híbrido
4	H-565	Híbrido
5	H-568	Híbrido
6	H-520	Híbrido
7	H-567	Híbrido
8	VS-653	Variedad
9	HEV3B	Avanzado
10	CLTHW13001	Avanzado
11	CLTHW13002	Avanzado
12	CLTHW13005	Avanzado
13	CLTHW14001	Avanzado
14	CLTHW14003	Avanzado
15	CLTHW14005	Avanzado
16	CLTHY13002	Avanzado
17	SINT. AMAR. OCOTITO	Avanzado
18	SINT. BLANCO OCOTITO	Avanzado
19	SINT. A DENTADO	Avanzado
20	SINT B CRISTALINO	Avanzado
21	POB. 501 C2	Avanzado
22	POB 502 C5	Avanzado
23	POB 510 HGA	Avanzado
24	POB 510 HGB	Avanzado
25	SINT 1A	Avanzado

Las evaluaciones se realizaron durante el 2017, en los laboratorios del Campo Experimental Mocochoá, INIFAP, que se encuentra ubicado en el km 25 antigua carretera Mérida-Motul, Yucatán, México.

### Simulación de condiciones de estrés hídrico

Con el uso de Polietilenglicol 8000 (PEG 8000), se simularon dos condiciones de estrés hídrico. Se prepararon soluciones con diferente potencial osmótico -0,5 y -0,75 MPa (Ojeda-Silvera et al., 2013). Además de emplear un testigo con potencial osmótico de 0 MPa, que provenía de agua destilada. Para conocer la cantidad de PEG 8000 necesaria para obtener los potenciales hídricos deseados, se utilizó la fórmula propuesta por Burlyn (1983).

$$[\text{PEG}] = \frac{[4 - (5.16\varphi T - 560\varphi + 16)^{0.5}]}{2.58T - 280}$$

Donde:

[PEG]: kilogramos de PEG por litro de agua destilada.

$\varphi$ : Potencial osmótico requerido en bares (1 bar = 0,1 MPa).

T: Temperatura de preparación de la solución.

Se emplearon 100 semillas de cada material por potencial osmótico, repartidas en cuatro repeticiones de veinticinco semillas. Se colocaron entre toallas de papel de 24 x 23,5 cm, previamente humedecidas con la solución de PEG correspondiente. Las toallas de papel con las semillas se enrollaron en forma de muñecas o taco (ISTA, 2005) y se colocaron en la cámara de germinación a 25±1 °C.

La germinación fue evaluada a partir del día séptimo después de la siembra, se consideró como germinada toda semilla que presentara protrusión radical superior a 5 mm. Se evaluó la germinación total y se expresó en porcentaje.

Las variables morfométricas contempladas fueron: longitud del tallo, tomada desde el nudo del eje coleóptilo hasta la punta de la primera hoja, y longitud de la raíz, medida desde el nudo a la punta de la raíz más larga, ambas variables se registraron en centímetros. El peso fresco y peso seco de ambas estructuras se expresó en gramos. Las plántulas, una vez contabilizadas para la germinación, se desinfectaron y pesaron por separado, las radículas no se desprendieron de la semilla. El secado se realizó en una estufa de convección a 70 °C por 72 h, posteriormente se pesaron en una báscula digital.

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial de dos factores (materiales evaluados y la intensidad del estrés simulado). Los resultados se analizaron con el paquete estadístico SAS 9.11. Los porcentajes de germinación se transformaron a fin de que presentaran una distribución normal. La comparación de medias se realizó con Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

## Resultados

Los resultados obtenidos en cada uno de los factores analizados por las diferentes variables respuesta, generaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). De los veinticinco materiales evaluados, resaltaron los híbridos H-520 y H-567 para germinación con 67% en promedio; H-563 sobresalió en longitud, peso fresco y seco de tallo con resultados de 11 cm, 1,82 g y 0,16 g, respectivamente; H-520 en longitud de raíz y peso seco de tallo, mientras que HEV3B resaltó en peso fresco y seco de raíz (Cuadro 2). El factor estrés registró diferencias ( $p \leq 0,05$ ) para todas las variables respuesta, con excepción de peso seco de raíz, todos los resultados que corresponden a 0 MPa fueron superiores (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Promedio de las variables respuesta evaluadas en semillas de veinticinco genotipos de maíz, bajo condiciones de estrés hídrico simulado por medio de soluciones osmóticas. Yucatán, México. 2017.

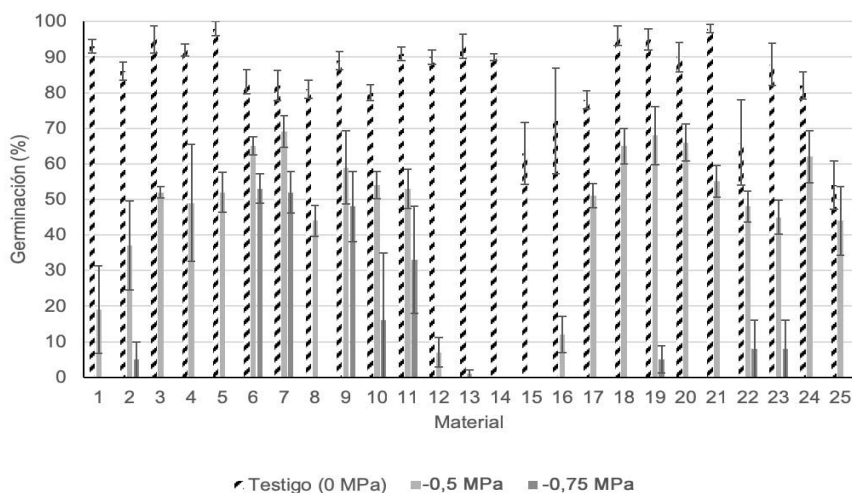
**Table 2.** Average of the response variables evaluated in seeds of twenty-five maize genotypes, under simulated water stress conditions through osmotic solutions. Yucatán, México. 2017.

Factores		Variables respuesta					
Materiales	Germinación (%)	Longitud de tallo (cm)	Longitud raíz (cm)	Peso fresco tallo (g)	Peso seco de tallo (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco raíz (g)
1	37,3dfghi	8,3cde	5,4fgh	1,2cde	0,09cdefh	1,71fghi	0,65k
2	42,7cdfg	8,8bc	6,2defgh	1,4bc	0,11bcde	2,1defghl	0,77ghijk
3	49,0abcdf	11,4a	9,4abc	1,8a	0,16a	2,1defghl	0,71ijk
4	47,0bcdfg	11,1ab	9,1abc	1,7ab	0,15ab	2,2def	0,76hijk
5	50,0abcd	8,8cd	7,4cdef	1,4bc	0,13abc	1,9efghi	0,67jk
6	67,0a	6,5def	10,8a	1,4bcd	0,16a	3,0bc	1,41bcd
7	67,7a	6,0ef	10,2ab	1,1cdef	0,12bcd	3,4ab	1,79ab
8	41,7cdfgh	6,6cde	7,7cdef	1,0defg	0,11cde	1,4hi	1,01defghijk
9	65,3ab	4,9f	8,9abc	1,0cdefg	0,10cdef	3,8a	2,02a
10	50,0abcdf	4,7f	8,2bcde	0,9efg	0,08defh	2,6cd	1,42bcd
11	59,0abc	4,8f	8,5abcd	1,0defg	0,09cdef	2,9bc	1,62abc
12	32,3fghi	5,5f	7,0cdefg	1,0cdefg	0,08defh	1,5hi	0,83fghijk
13	31,3fghi	5,2f	6,1defgh	0,9efg	0,07fh	1,5hi	0,87fghijk
14	22,7hi	4,5f	4,9gh	0,9efg	0,07efh	1,9efghi	1,18defg
15	21,0i	4,8f	4,2h	0,9efg	0,06h	1,9efghi	1,08defghij
16	28,0ghi	4,9f	7,6cdef	1,1cdefg	0,09cdefh	2,1defghi	1,31cde
17	43,0cdfg	4,5f	6,9cdefg	0,7g	0,06h	1,6fghi	1,07defghijk
18	53,7abcd	5,9f	7,0cdefg	0,8fg	0,08efh	1,4i	0,99efghijk
19	63,7ab	5,4f	8,7abc	0,9defg	0,09cdefh	2,4cde	1,10defghi
20	52,0abcd	5,2f	7,1cdefg	0,9defg	0,08defh	1,9efghi	1,19def
21	51,0abcdf	4,9f	7,6cdef	0,8fg	0,07fh	1,9efghi	1,07defghijk
22	40,7cdfghi	5,4f	8,1bcde	0,8fg	0,10cdef	2,1defg	1,16defgh
23	47,0bcdfg	5,9f	8,0cde	1,0defg	0,12abc	2,1defg	1,17defgh
24	48,0abcdf	5,3f	7,3cdefg	0,9defg	0,11cdef	1,5hi	1,04defhijk
25	32,7efgi	4,7f	5,8efgh	0,8efg	0,10cdef	1,7fghi	1,35cde
dms	19,98	2,28	2,5	0,4	0,038	0,65	0,42
Estrés							
0 MPa	84,12a	14,58a	14,06a	2,55a	0,22a	2,89a	1,07b
0,5 MPa	43,08b	3,65b	7,07b	0,57b	0,07b	2,60b	1,38a
0,75 MPa	10,04c	0,27c	1,45c	0,04c	0,01c	0,85c	0,93c
dms	4,41	0,5	0,55	0,09	0,008	0,15	0,09

Medias con la misma letra en cada variable y para cada factor, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0,05). dms: diferencia mínima significativa. MPa: Megapascales / Means with the same letter in each variable and for each factor are not statistically different (Tukey, 0,05). dms: minimum significant difference. MPa: Megapascals.

## Germinación vs estrés hídrico

Al analizar los tratamientos resultantes de la combinación de los factores, el testigo registró una germinación por encima del 80%, a excepción de CLTHW14005, POB 502 C5 y SINT 1A, quienes presentan germinación de 60% o menos. Sin embargo, el uso de PEG 8000, para simular las condiciones de estrés hídrico, alteró la respuesta de la germinación en todos los materiales. El potencial  $-0,5$  MPa produjo diferencias ( $p \leq 0,05$ ) en algunos materiales, disminuyendo hasta el 100% la germinación, tal fue el caso de CLTHW14003 y CLTHW14005, mientras que H-567 solamente redujo la germinación en 16% con respecto al porcentaje registrado en el testigo, que fue de 82%, a este material le siguieron SINT 1A, el cual solamente redujo 18%, y H-520 con un decremento del 21% con respecto a la germinación del testigo. En un potencial más negativo,  $-0,75$  MPa, solamente nueve materiales mostraron germinación. Los tres menos afectados fueron H-520, H-567 y HEV3B, con reducciones del 30% de germinación para los primeros dos y de 41% para el último, con respecto a la germinación del testigo, los materiales H-562, CLTHW13001, CLTHW13002, SINT. A DENTADO, POB 502 C5 y POB 510 HGA, arrojaron porcentajes de 5,16, 5, 30, 8, 8, 8% respectivamente (Figura 1).



**Figura 1.** Respuesta de germinación de veinticinco materiales de maíz sometidos a diferentes potenciales de estrés hídrico, simulado por medio de soluciones osmóticas. Yucatán, México. 2017.

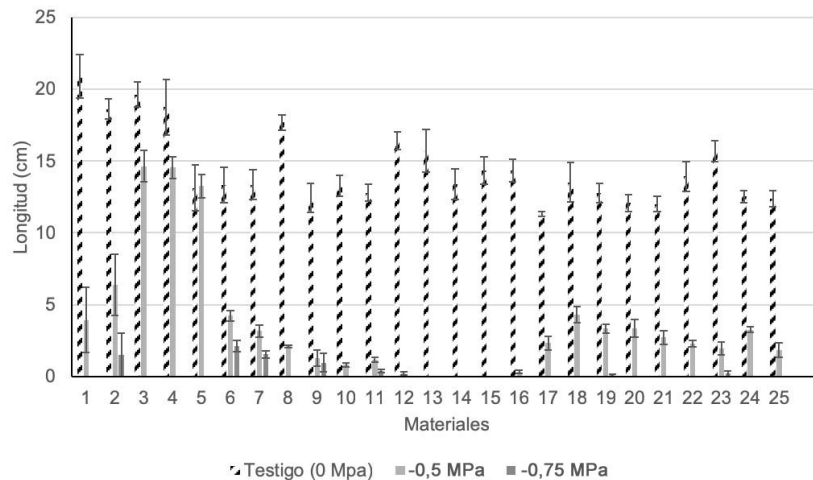
**Figure 1.** Germination response of twenty-five maize materials submitted to different potentials of water stress, simulated through osmotic solutions. Yucatán, México. 2017.

## Variabes morfológicas

### *Longitud de tallo y raíz*

La longitud promedio del testigo de todos los materiales fue heterogénea, los más sobresalientes fueron H-516, H-562, H-563, H-565 y VS 653, que registraron valores de 17 a 20 cm, el resto se mantuvo entre 14 y 16 cm. Por otro lado, cuando se germinaron sobre el potencial de  $-0,5$  MPa, veinte de los veinticinco materiales emitieron estructuras de tallo en diferente longitud, que fue desde 0,3 hasta 14 cm, sobresaliendo los híbridos H-563, H-565 y H-568, los cuales redujeron 5 y 4,2 cm para los dos primeros y el último, no redujo la longitud con respecto a la registrada en el testigo. Mientras CLTHW14001, CLTHW14003, CLTHW14005 redujeron al 100% la longitud del tallo.

La evaluación para el potencial de -0,75 MPa solo fue para los híbridos H-562, H-520, H-567, HEV3B, CLTHW13002, SINT A DENTADO y POB 510 HGA, con longitudes desde 0,08 a 2 cm, para el resto de los materiales no hubo presencia de tallo (Figura 2).



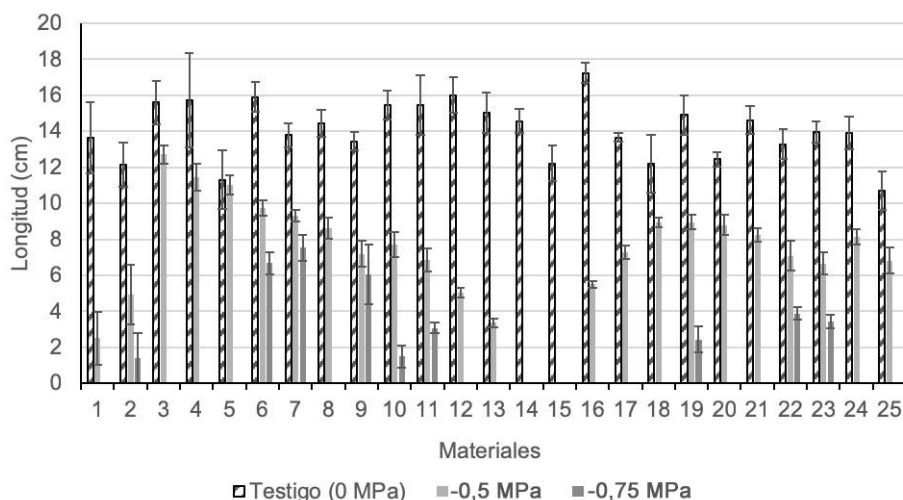
**Figura 2.** Longitud de tallo, resultado de la germinación de materiales de veinticinco genotipos de maíz sometidos a diferente estrés hídrico, simulado por medio de soluciones osmóticas. Yucatán, México. 2017.

**Figure 2.** tem length, result of the germination of materials of twenty-five corn genotypes subjected to different water stress, simulated through osmotic solutions. Yucatán, México. 2017.

La variable longitud de raíz registró diferencias ( $p \leq 0,05$ ) entre los materiales, se obtuvieron longitudes desde 10 hasta 17 cm, resaltando CLTHY13002 con mayor longitud y SINT 1A como el de menor longitud; sin embargo, cuando las semillas se sometieron a -0,5 MPa todos los materiales sufrieron reducciones en la raíz. Los más afectados redujeron la longitud en un intervalo de 10 a 12 cm contra 0,68 cm del material con menor pérdida de longitud de raíz (H-568). El potencial de -0,75 MPa presentó diferencias ( $p \leq 0,05$ ) entre materiales. Todos registraron reducciones que fueron desde inhibición completa de la de emisión de radícula hasta los que solamente redujeron 6 cm con respecto al testigo (Figura 3).

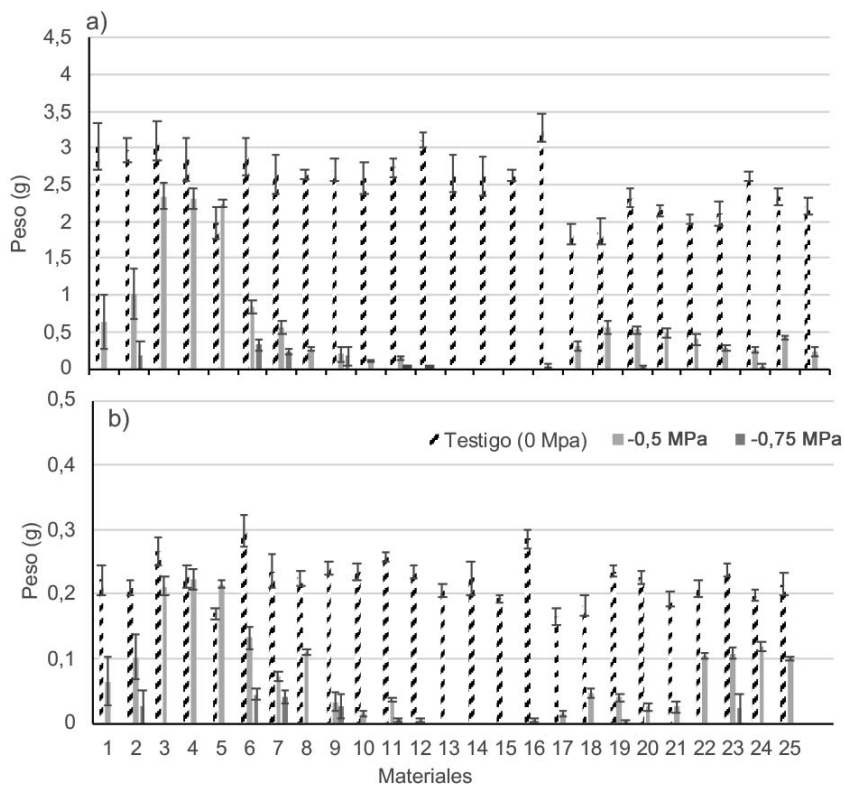
#### *Peso fresco y seco de tallo y raíz*

La variable de peso fresco y seco de tallo mostró diferencias ( $p \leq 0,05$ ), mientras el testigo, para peso fresco obtuvo un intervalo de 1,8 a 3 g, el peso seco de este se mantuvo entre 0,16 a 0,29 g. Con el potencial de -0,5 MPa, todos los materiales registraron reducciones, tanto para peso fresco como seco; sin embargo, solamente tres materiales no emitieron tallo (CLTHW14001, CLTHW14003 y CLTHW14005), del resto cabe resaltar que, H-563 y H-565 fueron los que mostraron menos reducciones (0,75 y 0,52 g en peso fresco y de 0,05 y 0,005 g para peso seco, respectivamente), mientras que H-568 presentó un aumento en el peso del tallo de 0,27 g y de 0,045 g para el peso seco con respecto al testigo. El estrés provocado por el potencial de -0,75 MPa inhibió la emisión de tallo de la mayoría de los materiales. Solo en el H-562, H-520, H-567, HEV3B, CLTHW13002, SINT A DENTADO y POB 510 HGA, se obtuvieron tallos, y la pérdida de peso con respecto al testigo se mantuvo entre 0,01 a 0,3. Los materiales con la menor afectación en -0,5 MPa se redujeron a cero con el potencial más negativo, donde no hubo emisión de tallos, mientras que H-562, H-520, H-567 y HEV3B mantuvieron tallos de 0,3 g para peso fresco y de 0,02 a 0,04 g para peso seco en promedio (Figura 4 a y b).



**Figura 3.** Longitud de raíz, resultado de la germinación de materiales de veinticinco genotipos de maíz sometidos a diferente estrés hídrico, simulado por medio de soluciones osmóticas. Yucatán, México. 2017.

**Figure 3.** Root length, result of the germination of materials of twenty-five corn genotypes subjected to different water stress, simulated through osmotic solutions. Yucatán, México. 2017.

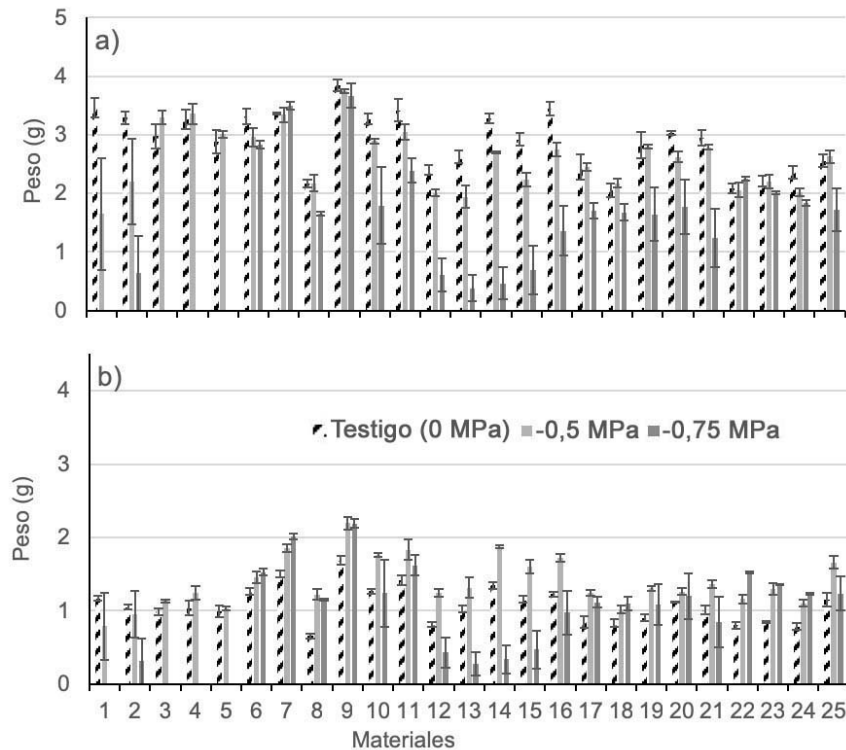


**Figura 4.** Peso fresco (a) y seco (b) de tallos de maíz, resultado de la germinación de veinticinco materiales de maíz sometidos a diferente estrés hídrico, simulado por medio de soluciones osmóticas. Yucatán, México. 2017.

**Figure 4.** Fresh (a) and dry (b) weight of corn stems, result of the germination of twenty-five maize materials subjected to different water stress, simulated through osmotic solutions. Yucatán, México. 2017.



El peso fresco y seco de la raíz presentó diferencias en todos los materiales y niveles de estrés hídrico. El testigo, en cuanto a peso fresco, presentó diferencias entre los materiales, que fueron similares con el resto de las variables evaluadas. Mientras el peso fresco para el tratamiento de -0,5 MPa registró ligeras reducciones con respecto al testigo, sin embargo, los materiales H-563, H-565, H-568, Sint. Blanco Ocotito y SINT 1A, registraron incrementos de peso que fueron de 0,32 a 0,08 g. En el tratamiento de -0,75 MPa, solamente H-567 y POB 502 C5 se mantuvieron ligeramente por encima del testigo con 0,13 y 0,17 g, respectivamente, el resto registraron reducciones que fueron desde 3,5 a 0,38 g con respecto al testigo (Figura 5a). En el caso del peso seco se registraron diferencias entre los materiales dependiendo de la intensidad del estrés hídrico aplicado ( $p \leq 0,05$ ); el testigo arrojó pesos desde 0,7 hasta 1,68 g resaltando el híbrido HEV3B, sin embargo, al someterlos al estrés de -0,5 MPa, a excepción de H-516 y H-562 que registraron reducciones, el resto mantiene el peso seco por encima del reportado para el testigo que van de 0,04 a 0,57 g; en el caso del potencial -0,75 MPa los materiales que registraron estructuras para evaluar presentaron el mismo comportamiento que para el tratamiento de -0,5 MPa (Figura 5b).



**Figura 5.** Peso fresco (a) y seco (b) de la protrusión radical de maíz, resultado de la germinación de veinticinco materiales de maíz sometidos a diferente estrés hídrico, simulado por medio de soluciones osmóticas. Yucatán, México. 2017.

**Figure 5.** Fresh (a) and dry weight (b) of the root protrusion of maize, result of the germination of twenty-five maize materials subjected to different water stress, simulated through osmotic solutions. Yucatán, México. 2017.

## Discusión

El comportamiento de los factores observados coincide con otros autores (Méndez et al., 2010; Ojeda-Silvera et al., 2013), quienes han indicado que entre más negativo sea el potencial se provoca una reducción en la

germinación. De acuerdo con Bradford (1986) el uso del polietilenglicol retrasa el proceso de germinación ya que, retiene el agua del entorno de la semilla evitando la hidratación de estructuras fundamentales para la activación de sistemas de restauración y movilización de reservas. El polietilenglicol se ha empleado como una técnica de osmoacondicionamiento para mejorar la germinación en términos de uniformidad y velocidad, como lo indicaron Marín et al. (2007), al tratar semillas de cebolla con diferentes agentes osmóticos, y aunque el PEG no superó al testigo, sí fue mejor que el resto de los tratamientos. En semillas de chile habanero se ha visto un efecto positivo en cuanto al tiempo de emergencia en semillas tratadas con PEG 8000 (Garruña-Hernández et al., 2014). En cuanto al desarrollo de las estructuras morfométricas Valle et al. (2017) encontraron efecto positivo en el uso de PEG en semillas de maíz palomero, las cuales registraron estructuras más largas y de mayor peso que el testigo. Sin embargo, en este caso todas las variables morfométricas fueron superiores en el testigo y el potencial más negativo (-0,75 MPa) inhibió la germinación en algunos casos y redujo tamaño y peso de estructuras en otros (Cuadro 2).

Varios autores coinciden en los efectos que ocasiona el estrés hídrico durante la germinación, estos efectos van desde baja germinación y pobre desarrollo de plántulas, hasta la inhibición de la germinación (Ghassemi-Golezan et al., 2008; Laynez-Garsaball et al., 2008; Zheng et al., 2016), debido a que no obtienen la cantidad mínima de hidratación para poder iniciar el proceso. En el caso de maíz se ha reportado que requiere 300 gH<sub>2</sub>O/kg ps en la semilla completa y de 500 gH<sub>2</sub>O/kg ps en el embrión, para que se pierda la tolerancia a desecación y con ello, el proceso de germinación sea irreversible (Rangel-Fajardo et al., 2014). Este comportamiento en la germinación, con relación al estrés hídrico aplicado en este estudio, ya había sido expuesto por Ojeda-Silvera et al. (2013) en semillas de albahaca, las cuales presentaron reducciones de germinación en todos los materiales evaluados al superar -0,75 MPa. Por otro lado, Tsoukrianis et al. (2009) reportan germinación, en materiales de maíz tolerantes a sequía, en potenciales de -1,28 y -1,58 MPa, lo que abre la posibilidad de poder identificar materiales que respondan adecuadamente bajo condiciones de estrés hídrico.

De acuerdo con los resultados obtenidos por Laynez-Garsaball et al. (2008) las reducciones en el vástago y raíz de la planta fueron notorios a potenciales de -1,2 MPa, sin embargo, la respuesta al estrés, de cada material será diferente como lo han reportado varios autores (Argentel et al., 2016, Avendaño-Arrazate et al., 2008; Laynez-Garsaball et al., 2008), lo cual es atribuido al avance de mejoramiento.

La respuesta de mantener el peso por encima a lo que registra el testigo, se debe a que la raíz no fue separada del resto de la semilla, por lo que la semilla aún conserva estructuras de almacenamiento que no han sido utilizadas, ya que, el proceso de germinación es más lento (Zheng et al., 2016).

Las reducciones en el peso fresco y seco en las estructuras vegetativas de plantas germinadas sobre condiciones de estrés hídrico, generado con PEG, han sido reportadas en varias especies como trigo (Argentel et al., 2016), arroz (Cristo et al., 2017), estevia (Villalba y Nakayama, 2016), albahaca (Ojeda-Silvera et al., 2013), frijol (García et al., 2015) y maíz (Biasutti y Calañanes, 2001; Méndez et al., 2010), los cuales han presentado afectaciones conforme es más negativo el potencial en el cual se desarrollaron.

En evaluaciones con maíz y frijol criollo, Aguilar-Benítez et al. (2014), reportaron importantes pérdidas de germinación y acumulación de materia seca, al usar potenciales de -0,5 y -1,1 MPa. La respuesta de germinación y recuperación de crecimiento después o durante el estrés hídrico dependerá del tipo de material que se esté empleando.

## Conclusiones

De los materiales evaluados los híbridos H-563, H-565 y H-568 soportaron estrés de -0,5 MPa, y el H-520, H-567 y HEV3B presentaron germinación con -0,75 MPa y resaltaron en todas las variables evaluadas.

El empleo de sustancias osmoacondicionadoras para la simulación de estrés hídrico es una alternativa para la identificación de materiales tolerantes. La respuesta al estrés dependerá de cada material e incluso en lotes homogéneos puede ser heterogénea.

Es necesario corroborar la tolerancia bajo las condiciones de campo ya que ahí influirán más factores que pueden modificar la respuesta obtenida bajo condiciones de estrés hídrico simulado.

### Literatura citada

- Aguilar-Benítez, G., C.B. Peña-Valdivia, J. Ruiz, R. Castro-Rivera, and H.M. Ramírez-Tobias. 2014. Seed germination and early root growth in common bean and maize landraces and improved cultivars at different water stress levels. *Int. J. Appl. Sci. Technol.* 4(4):118-127.
- Argentel, L., J. Garatuzza, E.A. Yépez, y S. de-los-Santos-Villalobos. 2016. Evaluación de la tolerancia de variedades mexicanas de trigo a la salinidad, a través de indicadores fisiológicos, bioquímicos y agronómicos, cultivadas en Cuba en condiciones de campo. *Cult. Trop.* 37(1):91-101.
- Avendaño-Arrazate, C.H., J.D. Molina-Galán, C. Trejo-López, C. López-Castañeda, y J. Cadena-Iñiguez. 2008. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. *Agron. Mesoam.* 19:27-38. doi:10.15517/am.v19i1.5019
- Biasutti, C.A., y V.A. Galiñanes. 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 a campo. *AgriScientia* 18:37-44. doi:10.31047/1668.298x.v18.n0.2955
- Bradford, K.J. 1986. Manipulation of seeds water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *Hortic. Sci.* 59:672-676.
- Burlyn, E.M. 1983. Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8000 both in absence and presence of other solutes. *Plant Physiol.* 72:66-70. doi:10.1104/pp.72.1.66
- Cristo, E., M.C. González, y E. Ventura. 2017. Efecto de la sequía simulada con PEG-4000 sobre germinación y crecimiento de las plántulas de dos cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Trop.* 38(3):77-80.
- Dubreucq, B., N. Berger, E. Vincent, M. Boisson, G. Pelletier, M. Caboche, and L. Lepiniec. 2000. The Arabidopsis AtEPR1 extensin-like gene is specifically expressed in endosperm during seed germination. *Plant J.* 23:643-652. doi:10.1046/j.1365-313x.2000.00829.x
- Eskandari, H. 2013. Effects of priming technique on seed germination properties, emergence and field performance of crops: A review. *Int. J. Agron. Plant Prod.* 4:454-458.
- García, R.L., M. Leiva-Mora, P.A. Carabeo, R. Collado, M.I. Poveda, N. Veitía, A. Martirena, D. Torres, y L. Rivero. 2015. Efecto del estrés hídrico inducido con PEG-6000 sobre la germinación *in vitro* de semillas de *Phaseolus vulgaris* L. cv. 'ICA Pijao'. *Biotechnol. Veg.* 15:243-249.
- Garruña-Hernández, R., L. Latournerie-Moreno, O. Ayala-Garay, M.J. Santamaria, y L.L. Pinzón. 2014. Acondicionamiento pre-siembra: una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinenses* Jacq.). *Agrociencia* 48:413-423.
- Ghassemi-Golezan, K., A. Aliloo, M. Valizadeh, and M. Moghaddam. 2008. Effects of hydro and osmo-priming on seed germination and field emergence of Lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Notulae Bot. Hort. Agrobot. Cluj-Napoca* 36(1):29-33. doi:10.15835/nbha36186
- González Núñez, L.M. 2002. Reflexiones sobre los mecanismos generales de adaptación de las plantas a la salinidad y a otros tipos de estrés. *Alimentaria* 339:89-98.

- González, L.M., A. Estrada, N. Zaldivar, y L. Argente. 2007. Tolerancia a la sequía en diferentes variedades de trigo sobre la base de algunas variables del régimen hídrico y la concentración de pigmentos en estadía de plántula. *Rev. Cienc. Tecnol. Agropecu.* 16(1):45-49.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2005. International rules for seed testing. ISTA, SUI.
- Layne-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 Rev. Espec. Cienc. Quim. Biol.* 11(1):26-34.
- Marín, S.J., C.J. Mejía, L.A. Hernández, C.A. Carballo, y L.A. Peña. 2007. Acondicionamiento osmótico de semillas de cebolla (*Allium cepa* L.). *Agric. Tecnol. Mex.* 33(1):63-71.
- Méndez, N.J., P.F. Ybarra, y P.J. Merazo. 2010. Germinación y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz bajo soluciones osmóticas. *V. Polietilenglicol. Rev. Tecnol. ESPOL-RTE* 23(1):49-54.
- Ojeda-Silvera, C.M., B. Murillo-Amador, I.M. Reynaldo-Escobar, E. Troyo-Diéguez, F.H. Ruiz-Espinoza, y A. Nieto-Garibay. 2013. Estrés hídrico en la germinación y crecimiento de plántulas de genotipos de albahaca *Ocimum basilicum* L. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 4:229-241.
- Rangel-Fajardo, M.A., L. Córdova-Téllez, y E. Cárdenas-Soriano. 2014. Pérdida de tolerancia a la desecación durante la imbibición-germinación en semillas de maíz. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 5:833-845.
- Tsougkrianis, N., C.B. Peña-Valdivia, L.C. Trejo, y G.J.D. Molina. 2009. El potencial de agua del sustrato en la germinación de maíces con tolerancia y sensibilidad a la sequía. *Agric. Tecnol. Mex.* 34:363-369.
- Valle, M.R., P.J. Covarrubias, P.J.G. Ramírez, M.C.L. Aguirre, F.G. Iturriaga, y P.J. Raya. 2017. Efecto del osmoacondicionamiento sobre la germinación del maíz tipo palomero. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 8:307-319. doi:10.29312/remexca.v8i2.52
- Villalba, B. L., y N.H. Nakayama. 2016. Efecto del estrés hídrico inducido con PEG-6000 sobre el crecimiento in vitro de plantas de *Stevia rebaudiana* cv. 'KH-IAN/VC-142'. *Biotechnol. Veg.* 16:189-192.
- Zheng, M., Y. Tao, S. Hussain, Q. Jiang, S. Peng, J. Huang, and L. Nie. 2016. Seed priming in dry direct-seeded rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under drought stress. *Plant Growth Regul.* 78:167-178. doi:10.1007/s10725-015-0083-5