

Osmoacondicionamiento de semillas de maíz: efectos sobre emergencia y crecimiento de planta

Seed priming of maize seeds: effects on emergence and plant growth

DOI: 10.34188/bjaerv4n3-128

Recebimento dos originais: 04/03/2021

Aceitação para publicação: 30/06/2021

Itzel Pérez-León

Maestra en Ciencias por el Colegio de Postgraduados/Campus Tabasco/Programa Producción Alimentaria en el Trópico

Institución: Colegio de Postgraduados / Campus Tabasco

Dirección: Periférico Carlos A. Molina s/n, 86500 H. Cárdenas, Tabasco, México.

Correo electrónico: maria.perez@colpos.mx

Mepivoseth Castelán-Estrada

Doctor en Agronomía por el Institut National Agronomique Paris- Grignon. Francia

Institución: Colegio de Postgraduados / Campus Tabasco

Dirección: Periférico Carlos A. Molina s/n, 86500 H. Cárdenas, Tabasco, México.

Correo electrónico: mcastelan@colpos.mx

Luz del Carmen Lagunes-Espinoza

Doctora en Biología y Agronomía por la École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, Francia

Institución: Colegio de Postgraduados / Campus Tabasco

Dirección: Periférico Carlos A. Molina s/n, 86500 H. Cárdenas, Tabasco, México.

Correo electrónico: lagunesc@colpos.mx

José Jesús Obrador Olán

Doctor en Ciencia Ambiental por la Universidad de Salamanca España/ Facultad de Química Agrícola

Institución donde labora: Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

Dirección: Periférico Carlos A. Molina s/n, 86500 H. Cárdenas, Tabasco, México.

Correo electrónico: obradoro@colpos.mx

Francisco Marcelo Lara Viveros

Doctor en Ciencias por el Colegio de Postgraduados Campus Motecillos

Institución: Centro de Investigación en química aplicada

Dirección: Blvr. Enrique Reyna Hermsillo No. 140. Saltillo, Coahuila México. C.P. 25294

Correo: francisco.lara@ciqa.edu.mx

RESUMEN

El osmoacondicionamiento es una técnica que consiste en la hidratación de las semillas de forma controlada de manera que la germinación es iniciada, pero concluye cuando las semillas son depositadas en el sitio de siembra. Se ha reportado como un método eficaz para mejorar la velocidad de germinación y también el posterior crecimiento de las plántulas. Este trabajo se realizó durante 2017 bajo condiciones ambientales, con el objetivo de comparar varios tratamientos de osmoacondicionamiento en semillas de maíz y evaluar los efectos en la emergencia y el crecimiento

de las plantas resultantes. El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo factorial 4 x 2 x 3, donde los factores fueron la variedad (Chalqueño, Marceño, Mején [criollos] y VS-536 [variedad sintética]), la solución osmótica (agua y ácido giberélico 300 mg L⁻¹) y el tiempo de inmersión (12, 18 y 24 h), más 4 testigos. Los resultados muestran que las semillas de maíz Chalqueño osmoacondicionadas con AG₃ por 24 h presentaron el mayor porcentaje de emergencia (95.3). La mayor altura y más producción de materia seca se observó en Chalqueño osmoacondicionado con agua por 12 h. Las semillas osmoacondicionadas con los tratamientos específicos presentaron mayor porcentaje de emergencia a los 3 días después de la siembra y mayor producción de biomasa a los 67 días. Se concluye que los tratamientos de osmoacondicionamiento favorecen la emergencia y también el crecimiento subsecuente de las plantas resultantes.

Palabras clave: *Zea mays*, AG₃, emergencia, materia seca.

ABSTRACT

Osmopriming is a technique consisting of hydration of seeds in a controlled manner, in such a way that the germination is initiated, but it concludes when the seeds are deposited in the sowing site. It has been reported as an effective method to improve germination but also the subsequent growth of the seedlings. This work was carried out during 2017 under environmental conditions to compare several osmopriming treatments on maize and to evaluate the emergence and growth of the resulting seedlings. The experimental design was completely randomized with a factorial arrangement 4 x 2 x 3, where the factors were maize varieties (Chalqueño, Marceño, Mején [natives] and VS-536 [synthetic variety]), osmotic solutions (water and AG₃ 300 mg L⁻¹) and imbibition times (12, 18 and 24 h) plus 4 controls. The result shows that Chalqueño maize osmoprimed whit AG₃ for 24 h had the highest percentage of emergence (95.3). The best height and dry matter production were observed on Chalqueño osmoprimed whit water for 12 h. The osmoprimed seeds specifically had a higher percentage of emergence 3 days after sowing, and higher biomass production 67 days after sowing. It is concluded that osmopriming treatments increase emergence of seeds and growth of the resulting plants.

Keywords: *Zea mays*, AG₃, biomass, emergence

1 INTRODUCCIÓN

El maíz es originario de Mesoamérica, considerándose México como el centro de origen y diversidad de *Zea mays*. Esta especie actualmente es una de las más importantes a nivel mundial, en términos económicos, ocupando el primer lugar en producción con 1,060,107,470 t de grano (FAOSTAT, 2017). La gran diversidad de maíces existentes en México representa un recurso fitogenético valioso, del cual existen alrededor de 59 razas que varían en adaptación, tamaño, forma y otras cualidades, producto de la selección empírica realizada por los antiguos pobladores y que continúa en la actualidad con los pequeños productores (Sánchez *et al.*, 2000). En México se cultivan maíces criollos en el 82 % de la superficie cultivada con esta especie (INEGI, 2014) los cuales poseen buena adaptación a las condiciones climáticas y tienen las características organolépticas preferidas por los consumidores, lo que satisface las preferencias alimentarias y culturales de la población mexicana en general (Turrent *et al.*, 2010). No obstante la amplia

diversidad genética de maíz, los productores comerciales prefieren cultivar maíces de variedades mejoradas abandonando las razas criollas, principalmente porque las primeras tienen potencial para producir más cosecha bajo manejo intensivo. Además, las razas criollas se han visto amenazadas desde hace décadas por desastres naturales, cambios en el uso del suelo, la presión demográfica y por la modernización de la producción (Nadal, 2000; Vidal-Martínez *et al.*, 2010). Las variedades criollas tienden a ser abandonadas por los productores lo que pone en riesgo la conservación del germoplasma nativo y la diversidad de la especie. Debido a esto, es deseable desarrollar técnicas para mejorar la funcionalidad de las razas nativas, de modo que continúen empleándose por los pequeños productores para la siembra cotidiana. El osmoacondicionamiento se ha reportado como un método eficaz para mejorar la velocidad, uniformidad y tasa de germinación (Farooq *et al.*, 2007) así como el crecimiento, precocidad de floración y rendimiento de las plantas que resultan de este tratamiento (Du y Tuong, 2002). Los beneficios se deben principalmente al rápido crecimiento de la raíz, lo que facilita la absorción de humedad del suelo más rápido y a mayor profundidad (Chen y Arora, 2013). Para osmoacondicionar las semillas han sido utilizadas una variedad de sustancias, principalmente K_3PO_4 , KNO_3 y $NaCl$ (Mahboob *et al.*, 2015), ácido giberélico, polietilenglicol (PEG), agua (Ahmmad *et al.*, 2014) y recientemente extracto de hojas de *Moringa oleífera* (Rehman *et al.*, 2014). El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de tratamientos de osmoacondicionamiento en la germinación de las semillas de tres razas criollas de maíz y una variedad sintética, así como en el crecimiento de las plantas.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante 2017 en condiciones ambientales, en las instalaciones del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco situado en las coordenadas $17^{\circ} 58' 36''$ N y $93^{\circ} 23' 06''$ W, a una altitud de 30 m. Las temperaturas medidas mensuales registradas (en $^{\circ}C$) durante el experimento fueron: 28.7° en abril, 29.9° en mayo y 28.5° en junio. Los materiales vegetales fueron tres maíces criollos (Chalqueño y Marceño [del estado de Hidalgo], Mején [del estado de Tabasco]) y la variedad sintética VS-536 (comercial). Antes de aplicar los tratamientos se determinó la viabilidad de las semillas de cada variedad mediante la prueba de Tetrazolio en 50 semillas con cuatro repeticiones (Moreno, 1996) encontrándose valores de 95, 92, 94 y 95%, respectivamente. La humedad de las semillas se determinó con un equipo DICKEY-John, modelo GAC 500XT (13.4, 12.6, 16.2 y 17.5 %, respectivamente). El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial $4 \times 3 \times 2$, con cuatro repeticiones. Los factores estudiados fueron: variedad de maíz (Chalqueño, Marceño, Mején y VS-536), tiempo de inmersión (12, 18 y 24 h) y soluciones de osmoacondicionamiento (agua y $AG_3 300 \text{ mg L}^{-1}$). De este diseño resultaron 24 tratamientos más

un testigo por cada variedad, con cuatro repeticiones, en total 112 unidades experimentales (contenedores) donde se realizaron las mediciones. Después de aplicar los tratamientos de osmocondicionamiento a las semillas, estas se ventilaron a la sombra por 48 h, a temperatura ambiente, posteriormente se sembraron en contenedores rígidos (2 L de capacidad) utilizando como sustrato una mezcla suelo: peat-moss:arena (50:45:5 v/v). En cada contenedor se colocaron cinco semillas a una profundidad aproximada de 4 cm. Un día previo a la siembra se dio un riego para aportar la humedad requerida para la germinación; posteriormente los riegos se realizaron cada 2 días. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de emergencia (PE), altura de planta, área foliar (medida con un integrador de área foliar marca LICOR-3000) y materia seca aérea; los muestreos se realizaron a los 18, 39 y 53 dds. Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante ANOVA considerando los factores solos y sus interacciones. Los porcentajes de emergencia se transformaron con la función arcoseno $[\sqrt{X}/(100)]$ para normalizar los datos, previo al análisis de varianza. En los casos donde se hallaron diferencias significativas se realizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.4.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza mostró que el efecto de variedad, solución y tiempo fue altamente significativo, o significativo, para las variables estudiadas. El efecto de la interacción variedad * tiempo * solución fue altamente significativo para el porcentaje de emergencia, altura y área foliar; y significativo para materia seca aérea (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza de los efectos de variedad, tiempo, solución de osmocondicionamiento y sus interacciones, en maíces criollos y variedad VS-536.

Fuente de variación	PE	Altura (cm)	AF	MSA
Variedad (V)	17176.4***	11175.1***	2617888.4***	292.0***
Solución (S)	215.6*	13080.5***	3406050***	118.9*
Tiempo (T)	157.1*	9290.8***	331035.3**	80.8*
V*S	3050.8***	378.5	272312.5	38.1
V*T	2369.1	413.9	237801.7	63.4
S*T	446.0	337.7	22144.9	492.9
V*S*T	221.3***	332.0***	432011***	130.1**
CME	128.9	79.9	66757.5	51.5
CV	17.8	9.7	24.8	17.4
Media	63.9	92.4	1044.9	41.2

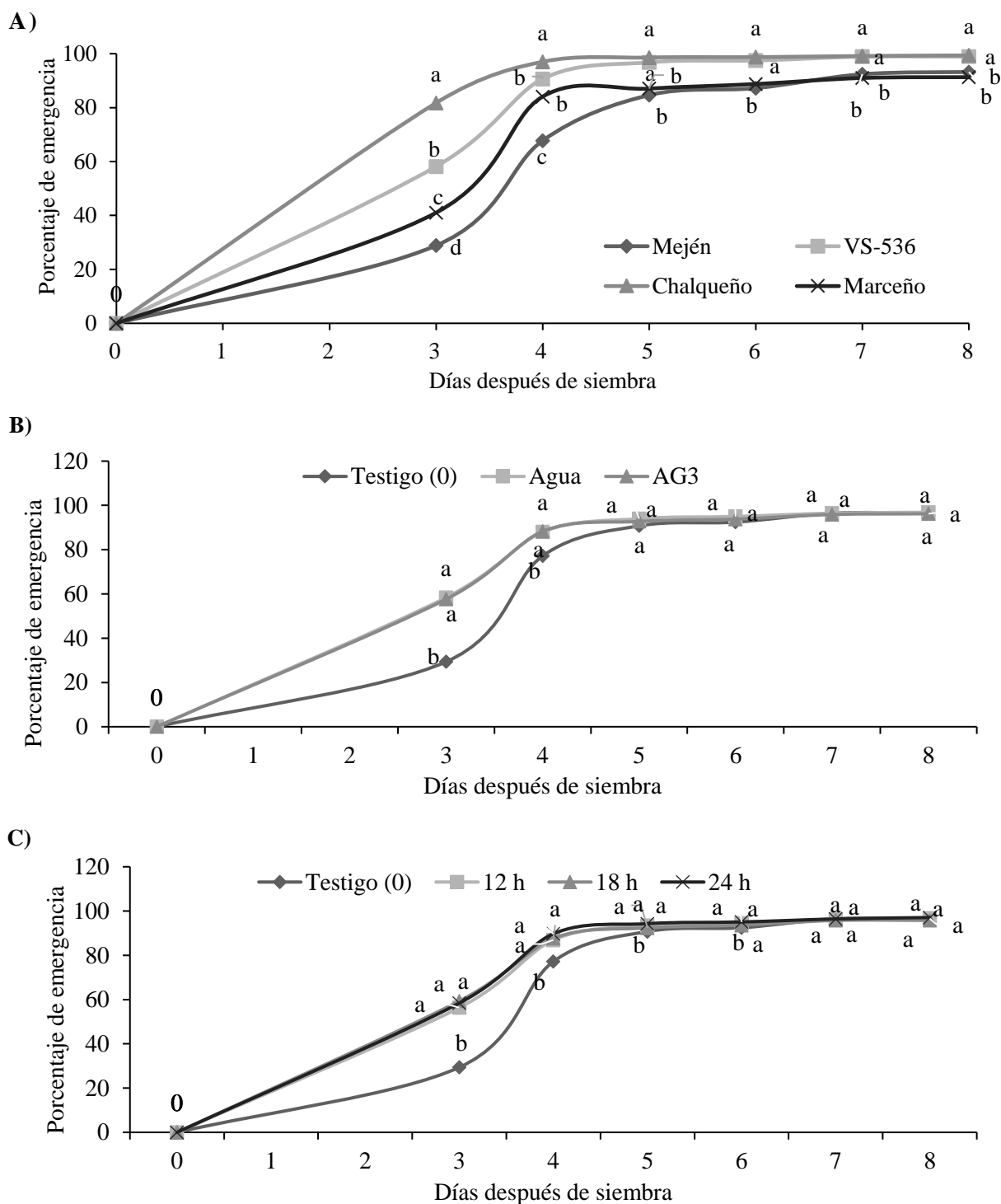
CME cuadrado medio del error, CV coeficiente de variación, PE porcentaje de emergencia, AF área foliar (cm²), MSA materia seca aérea (g). ***p < 0.0001, ** p < 0.01, *p < 0.05

PORCENTAJE DE EMERGENCIA

El análisis de varianza para el porcentaje de emergencia muestra que hubo efecto significativo de los factores solos y también en su interacción triple. De acuerdo con la comparación de medias ($p \leq 0.05$), la variedad Chalqueño presentó los porcentajes de emergencia más altos a los 3 dds. Ocho días después de la siembra, las variedades Chalqueño y VS-536 alcanzaron porcentajes de emergencia superiores al 97 % mientras que los maíces Mején y Marceño lograron porcentajes de 90 % (Figura 1A). Las soluciones agua y AG₃ no mostraron diferencias significativas entre ellas a los 3 y 4 dds, pero fueron superiores al testigo (Figura 1B). Por su parte, los tiempos de osmoacondicionamiento no mostraron diferencias significativas entre ellos a los 3 y 4 dds, pero resultaron superiores al testigo; las semillas osmoacondicionadas alcanzaron 50 % más de emergencia que el testigo (Figura 1C). Los efectos del osmoacondicionamiento son convenientes para que las plantas emerjan rápidamente y se anticipen al crecimiento de la maleza, disminuyendo la pérdida de semillas en campo. En todos los casos los tratamientos tienden a igualarse hacia el final del periodo de observaciones (Figura 1). Estos resultados coinciden con lo reportado por Afzal *et al.* (2002) y Tian *et al.* (2014) quienes compararon el efecto de las soluciones agua, AG₃, NaCl y PEG en la emergencia, las cuales indujeron porcentajes mayores que en el testigo.

La variedad Chalqueño osmoacondicionada (AG₃ por 24 h) presentó 95 % de emergencia a los 3 dds. En general las semillas osmoacondicionadas, sin importar el tiempo o tipo de solución, presentaron mayor emergencia en comparación al testigo. Lo anterior, muestra que los tratamientos tuvieron efectos positivos para inducir una emergencia más rápida (Cuadro 2). No obstante, hacia el final los tratamientos tienden a igualarse, alcanzando porcentajes superiores al 90% en general, aunque el valor más alto se registró en el tratamiento AG₃ por 24 h. Resultados similares fueron reportados por Afzal *et al.* (2002), quienes registraron un mayor porcentaje de emergencia en las semillas osmoacondicionadas que en el testigo. La utilización del osmoacondicionamiento para mejorar la emergencia y establecimiento en campo podría incrementar la tolerancia al estrés como lo señala (Moosavi *et al.*, 2009), principalmente en condiciones restrictivas de humedad en el suelo (Zhang *et al.*, 2015).

Figura 1. Porcentaje de emergencia en variedades de maíz sometidas a tratamientos de osmoacondicionamiento. A) variedad, B) solución, C) tiempo.



Cuadro 2. Efecto de la interacción variedad*solución*tiempo sobre el porcentaje de emergencia de semillas de maíz bajo tratamientos de osmoacondicionamiento.

Tratamiento	3 dds	4 dds	5 dds	6 dds	7 dds	8 dds
MJ testigo	7.3 g	52.7 f	77.5 de	85.1 bc	87.5 abc	88.7abc
MJ Agua, 12h	44.7 defg	77.1 bcdef	95.5 abcde	97.9 abc	98.4 abc	98.4 abc
MJ Agua, 18 h	44.7 defg	85.0 abcdef	92.8 abcde	97.6 abc	97.6 abc	98.9 abc
MJ Agua, 24 h	23.4 fg	70.8 def	86.3 abcde	90.8 abc	92.8 abc	96.2 abc
MJ AG ₃ , 12 h	34.9 efg	70.7 def	83.2 bcde	86.9 abc	90.8 abc	93.7 abc
MJ AG ₃ , 18 h	27.4 efg	59.0 ef	76.5 e	82.7 bc	91.3 abc	91.3 abc

MJ AG ₃ , 24 h	17.7 fg	52.6 f	73.3 e	76.3 c	81.9 c	81.9 c
VS testigo	42.6 defg	79.5 abcdef	90.8 abcde	96.0 abc	99.7 ab	99.7 ab
VS Agua, 12 h	49.8 defg	70.8 def	91.8 abcde	94.5 abc	97.4 abc	97.4 abc
VS Agua, 18 h	55.3 cdef	87.5 abcdef	95.3 abcde	96.0 abc	96.0 abc	96.0 abc
VS Agua, 24 h	57.3 cdef	97.6 abcd	99.7 ab	99.7 ab	99.7 ab	99.7 ab
VS AG ₃ , 12 h	59.5 cdef	90.8 abcdef	94.5 abcde	97.9 abc	97.9 abc	97.9 abc
VS AG ₃ , 18 h	75.1 abcd	93.8 abcde	97.4 abcde	97.9 abc	98.4 abc	98.4 abc
VS AG ₃ , 24 h	64.5 bcde	99.4 ab	100.0 a	100.0 a	100.0 a	100.0 a
CH testigo	48.0 defg	75.1 cdef	96.2 abcde	96.9 abc	98.4 abc	98.4 abc
CH Agua, 12 h	89.1 ab	96.2 abcd	96.2 abcde	96.2 abc	96.9 abc	98.4 abc
CH Agua, 18 h	89.9 ab	99.4 ab	99.7 ab	99.7 ab	99.7 ab	99.7 ab
CH Agua, 24 h	86.1 abc	99.7 a	99.7 ab	100.0 a	100.0 a	100.0 a
CH AG ₃ , 12 h	73.7 abcd	95.3 abcd	96.9 abcde	96.9 abc	97.6 abc	97.6 abc
CH AG ₃ , 18 h	75.1 abcd	99.1 abc	99.1 abcd	99.1 ab	99.1 abc	99.1 abc
CH AG ₃ , 24 h	95.3 a	99.4 ab	99.4 abc	99.7 ab	99.7 ab	100.0 a
MR testigo	17.7 fg	93.3 abcde	94.2 abcde	95.3 abc	95.3 abc	96.0 abc
MR Agua, 12 h	37.9 defg	85.6 abcdef	87.9 abcde	89.1 abc	89.1 abc	89.1 abc
MR Agua, 18 h	49.8 defg	76.2 bcdef	81.4 bcde	86.5 abc	88.6 abc	88.6 abc
MR Agua, 24 h	42.6 defg	76.5 bcdef	80.5 cde	84.4 bc	85.6 bc	85.6 bc
MR AG ₃ , 12h	47.5 defg	95.1 abcd	96.9 abcde	98.4 abc	98.4 abc	98.4 abc
MR AG ₃ , 18 h	40.3 defg	75.1 cdef	76.4 e	84.2 bc	85.4 bc	85.4 bc
MR AG ₃ , 24 h	49.8 defg	79.2 abcdef	85.0 bcde	88.4 abc	89.5 abc	90.6 abc

* Letras diferentes dentro de columnas indican diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$).

dds = días después de siembra; MJ = Mején, VS = VS-536, CH = Chalqueño, MR = Marceño.

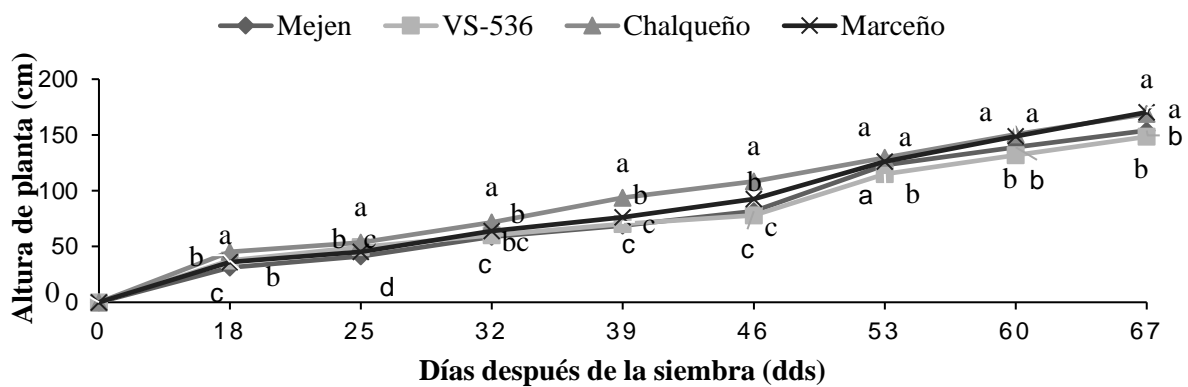
ALTURA DE PLANTA

Se encontraron diferencias significativas relacionadas con el factor variedad, siendo Chalqueño la que tuvo mayor altura de planta durante casi todo el periodo de observación (18, 25, 33, 39, 46 y 60 dds). Hacia el final del ciclo (68 dds) ésta y la variedad Marceño presentaron valores superiores a Mején y VS-536 (Figura 2A). De acuerdo con Limami *et al.* (2002), las variedades de maíz con semillas más grandes generan plantas de mayor tamaño, capaces de emerger de mayor profundidad de siembra por un crecimiento mayor de la radícula. Respecto de la solución, se presentaron diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$) a los 18 dds siendo las plantas provenientes de semillas osmoacondicionadas con AG₃ las más altas (40.7 cm); ese comportamiento cambió a partir de los 25 dds, cuando las semillas osmoacondicionadas con agua alcanzaron mayor altura (165 cm, 67 dds), (Figura 2B). Un comportamiento similar fue reportado por Dezfuli *et al.* (2008), quienes registraron mayor altura de planta en los tratamientos con agua y urea; y por Rehman *et al.* (2015) donde la altura máxima de planta se presentó en el tratamiento con ácido salicílico, extracto de moringa y agua, siendo significativamente diferentes respecto al testigo. Las plantas resultantes de semillas osmoacondicionadas presentaron mayor número de hojas y longitud de plántula en comparación al testigo (Hassanpouraghdam *et al.*, 2009). Los tiempos de osmoacondicionamiento indujeron diferencias significativas a los 18, 25, 32 y 39 dds, siendo los testigos los que tuvieron menor altura. Las plantas resultantes de semillas osmoacondicionadas por 12 h presentaron una altura media superior al testigo (Figura 2 C). Estos resultados coinciden parcialmente con Dezfuli *et al.* (2008) quienes registraron mayor altura en plantas provenientes de semillas tratadas por 12 h.

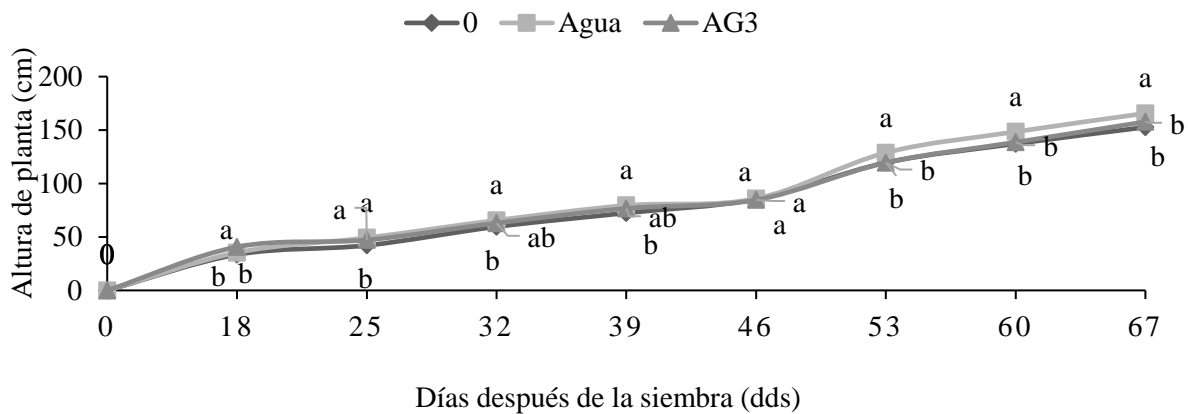
La interacción variedad*solución*tiempo presentó diferencias estadísticas en sus niveles y a lo largo del periodo de observación (Cuadro 3); no obstante, al final de este periodo, las plantas de la variedad Chalqueño osmoacondicionadas con agua durante 12 h presentaron mayor altura de planta que el resto de los tratamientos. En general las plantas resultantes de semillas osmoacondicionadas, sin importar la solución o los tiempos empleados, presentaron mayor altura que los testigos.

Figura 2. Incremento de altura en plantas de diferentes variedades de maíz criollo sometidas a tratamientos de osmoacondicionamiento. A) variedad, B) solución, C) tiempo.

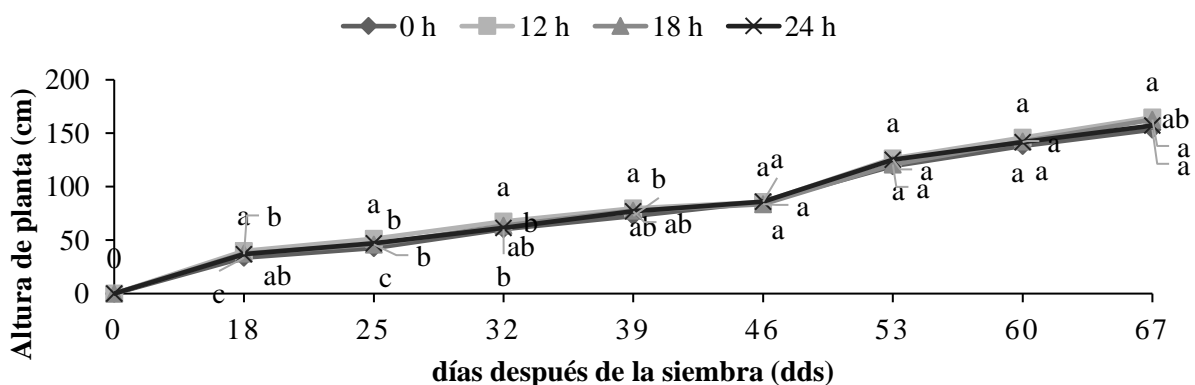
A)



B)



C)



Cuadro 3. Efecto de la interacción variedad*solución*tiempo de osmoacondicionamiento sobre el incremento de altura de plantas de maíz resultantes de semillas osmoacondionadas.

Tratamiento	18 dds	39 dds	53 dds	60 dds	67 dds
MJ testigo	27.1 k	62.8 d	124.0 bcd	134.1 abcd	151.2 bcde
MJ Agua 12h	31.8 ghijk	76.8 bcd	136.0 abc	156.5 ab	168.6 abcde
MJ Agua 18 h	28.2 jk	69.0 cd	122.0 bcd	138.4 abcd	157.5 abcde
MJ Agua 24	29.0 ijk	69.2 cd	127.5 abcd	143.8 abcd	155.7 abcde
MJ AG ₃ 12 h	30.7 hijk	74.5 bcd	119.8 bcd	137.3 abcd	158.8 abcde
MJ AG ₃ 18 h	31.4 ghijk	65.4 d	119.5 bcd	134.8 abcd	145.4 cde
MJ AG ₃ 24 h	39.5 abcdefghi	63.8 d	111.5 bcd	128.0 bcd	140.8 e
VS testigo	35.0 efghijk	69.8 cd	109.3 cd	129.0 bcd	143.6 de
VS Agua 12 h	36.8 cdefghijk	71.8 cd	130.3 abcd	144.2 abcd	152.8 abcde
VS Agua 18 h	34.6 efghijk	71.7 cd	124.0 bcd	141.2 abcd	157.5 abcde
VS Agua 24 h	36.2 cdefghijk	74.8 bcd	122.0 bcd	137.6 abcd	149.1 cde
VS AG ₃ 12 h	46.1abcd	70.9 cd	111.5 bcd	122.0 d	143.6 de
VS AG ₃ 18 h	35.1efghijk	69.5 cd	106.0 cd	125.6 bcd	147.7 cde
VS AG ₃ 24 h	38.2bcdefghij	63.3 d	102.0 d	124.5 cd	145.0 cde
CH testigo	40.2abcdefgh	80.5 abcd	121.5 bcd	145.2 abcd	158.9 abcde
CH Agua 12 h	46.3abc	90.4 abc	140.8 ab	165.3 a	185.5 a
CH Agua 18 h	43.8abcdef	96.8 ab	124.3 abcd	151.8 abcd	177.3 abc
CH Agua 24 h	42.0abcdefg	96.4 ab	131.8 abcd	142.0 abcd	163.3 abcde
CH AG ₃ 12 h	48.8ab	96.6 ab	129.5 abcd	154.2 abc	168.8 abcde
CH AG ₃ 18 h	50.1a	95.5 ab	129.5 abcd	150.1 abcd	167.3 abcde
CH AG ₃ 24 h	44.6abcde	100.3 a	130.8 abcd	145.6 abcd	160.5 abcde
MR testigo	31.7ghijk	76.6 bcd	123.3 bcd	140.3 abcd	156.9 abcde
MR Agua 12 h	33.1fghijk	79.0 abcd	129.3 abcd	157.4 ab	174.1 abcd
MR Agua 18 h	33.5fghijk	81.2 abcd	127.5 abcd	153.0 abcd	183.8 ab
MR Agua 24 h	29.6hijk	76.5 bcd	130.0 abcd	149.7 abcd	162.6 abcde
MR AG ₃ 12h	46.3abcd	78.0 abcd	114.5 bcd	134.2 abcd	160.4 abcde
MR AG ₃ 18 h	42.2abcdefg	71.7 cd	113.8 bcd	143.5 abcd	172.1 abcde
MR AG ₃ 24 h	35.3defghijk	69.6 cd	154.3 a	163.6 a	182.6 ab

* Letras diferentes dentro de columnas indican diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$).
dds = días después de siembra; MJ = Mején, VS = VS-536, CH = Chalqueño, MR = Marceño.

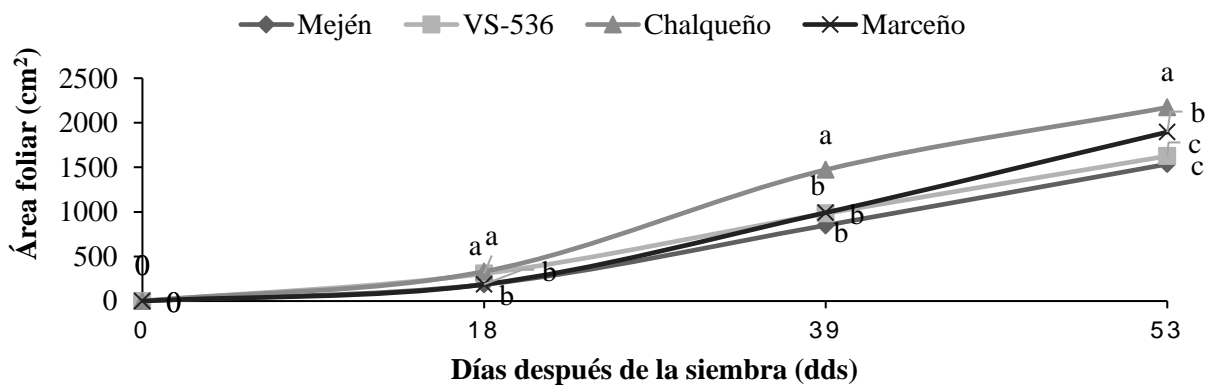
ÁREA FOLIAR

La mayor área foliar se presentó en la variedad Chalqueño, con una media de 1554 cm² a los 39 dds y 1895 cm² por planta a los 53 dds, mostrando una diferencia estadística significativa (Tukey $p \leq 0.05$) respecto de las otras variedades (Figura 3A). Respecto del tipo de solución, las plantas provenientes de semillas osmoacondionadas con AG₃ o agua presentaron un área foliar mayor que el testigo a los 39 dds (Figura 3B). A los 53 dds, las plantas provenientes de semillas osmoacondionadas en agua presentaron la mayor área foliar (2121 cm²) de todos los tratamientos, similar al comportamiento de la variable altura de planta. Los tiempos de osmoacondicionamiento también presentaron diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$); a los 53 dds indujeron efectos positivos en comparación con el testigo; las plantas resultantes de semillas osmoacondionadas durante 18 horas presentaron mayor área foliar al final del periodo de evaluación, con 2019 cm² por planta (Figura 3C). En este estudio se encontró que los tratamientos de osmoacondicionamiento favorecen una mayor expansión foliar en las plantas resultantes de semillas osmoacondionadas, aunque en la literatura científica no se encontraron reportes previos al respecto. La interacción triple variedad * tiempo * solución (Cuadro 4) mostró diferencias estadísticas en los tratamientos en las 3

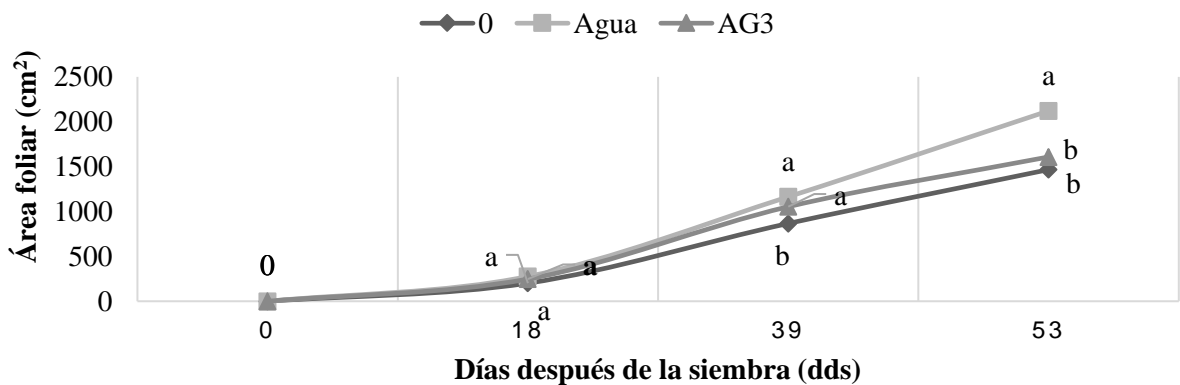
fechas de muestreo, siendo la variedad Chalqueño (AG₃, 18 h) la que presentó más del doble de área foliar (2845 cm² a los 53 dds) respecto al criollo Marceño (AG₃, 18 h) ya que este produjo en promedio 1147 cm² por planta. En resumen, la variedad Chalqueño fue la que presentó la mayor área foliar a lo largo del estudio y también la mayor altura de planta.

Figura 3. Incremento de área foliar de plantas de maíz, cuyas semillas fueron sometidas a tratamientos de osmoacondicionamiento. A) variedad, B) solución, C) tiempo.

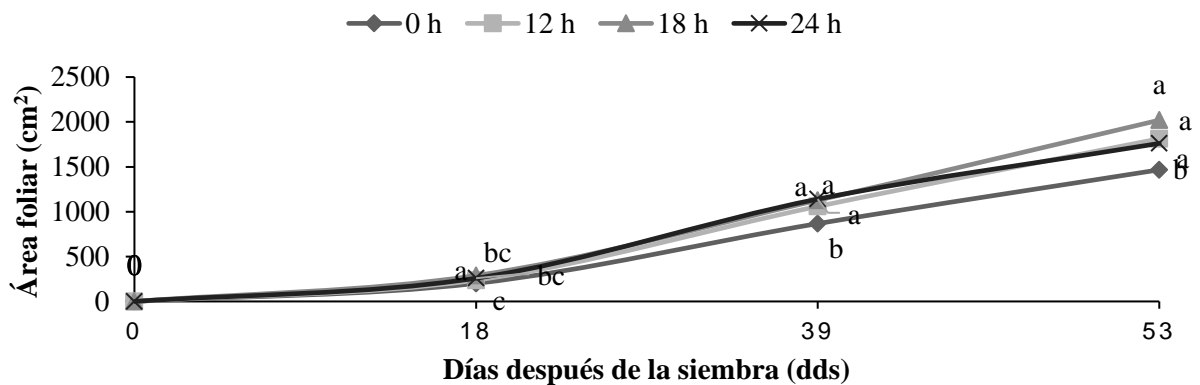
A)



B)



C)



Cuadro 4. Efecto de la interacción variedad*solución*tiempo de osmoacondicionamiento sobre el incremento de área foliar cm² de plantas de maíz resultantes de semillas osmoacondicionadas.

Tratamiento	18 dds	39 dds	53 dds
MJ testigo	107.25 h	570 d	1200 gh
MJ Agua, 12h	237.5 bcdefgh	825 cd	1545 efg
MJ Agua, 18 h	140 fgh	1030 bcd	1764.3 bcdefgh
MJ gua, 24 h	179.25 defgh	895 cd	2079 abcdefgh
MJ AG ₃ , 12 h	181.75 defgh	868.8 cd	1567.5 defgh
MJ AG ₃ , 18 h	217.75 bcdefgh	829.5 cd	1402.5 fgh
MJ AG ₃ , 24 h	240.75 bcdefgh	927.5 bcd	1193.8 gh
VS testigo	238.25 bcdefgh	995 bcd	1620 defgh
VS Agua, 12 h	334.75 abcd	1057.5 bcd	1312.5 gh
VS Agua, 18 h	369.25 ab	962.5 bcd	2557.5 abcd
VS Agua, 24 h	296.75 bcdef	1129 bcd	1357.3 gh
VS AG ₃ , 12 h	242 bcdefgh	828 cd	1765 bcdefgh
VS AG ₃ , 18 h	354.5 ab	891.3 cd	1265 gh
VS AG ₃ , 24 h	317 abcde	1017 bcd	1507.5 efg
CH testigo	330 abcde	905 bcd	1430 efg
CH Agua, 12 h	259.25 bcdefgh	1555 ab	2665 abc
CH Agua, 18 h	471.75 a	1368.8 abc	2757.5 ab
CH Agua, 24 h	320 abcde	1919.5 a	2172.5 abcdefg
CH AG ₃ , 12 h	277.75 bcdefg	1370 abc	1529.5 efg
CH AG ₃ , 18 h	350.5 abc	1895 a 1895 a	2845 a
CH AG ₃ , 24 h	309.5 abcde	1295 abc	1807.5 bcdefgh
MR testigo	130.75 fgh	997.5 bcd	1617.5 defgh
MR Agua, 12 h	242.75 bcdefgh	1112 bcd	2425 abcde
MR Agua, 18 h	239.25 bcdefgh	1163 bcd	2419.5 abcde
MR Agua, 24 h	222.5 bcdefgh	950 bcd	2397 abcdef
MR AG ₃ , 12h	121.25 gh	851.8 cd	1692.5 cdefgh
MR AG ₃ , 18 h	167 efg	879.3 cd	1147.5 h
MR AG ₃ , 24 h	186.25 cdefgh	987.5 bcd	1572.5 defgh

* Letras diferentes dentro de columnas indican diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$).

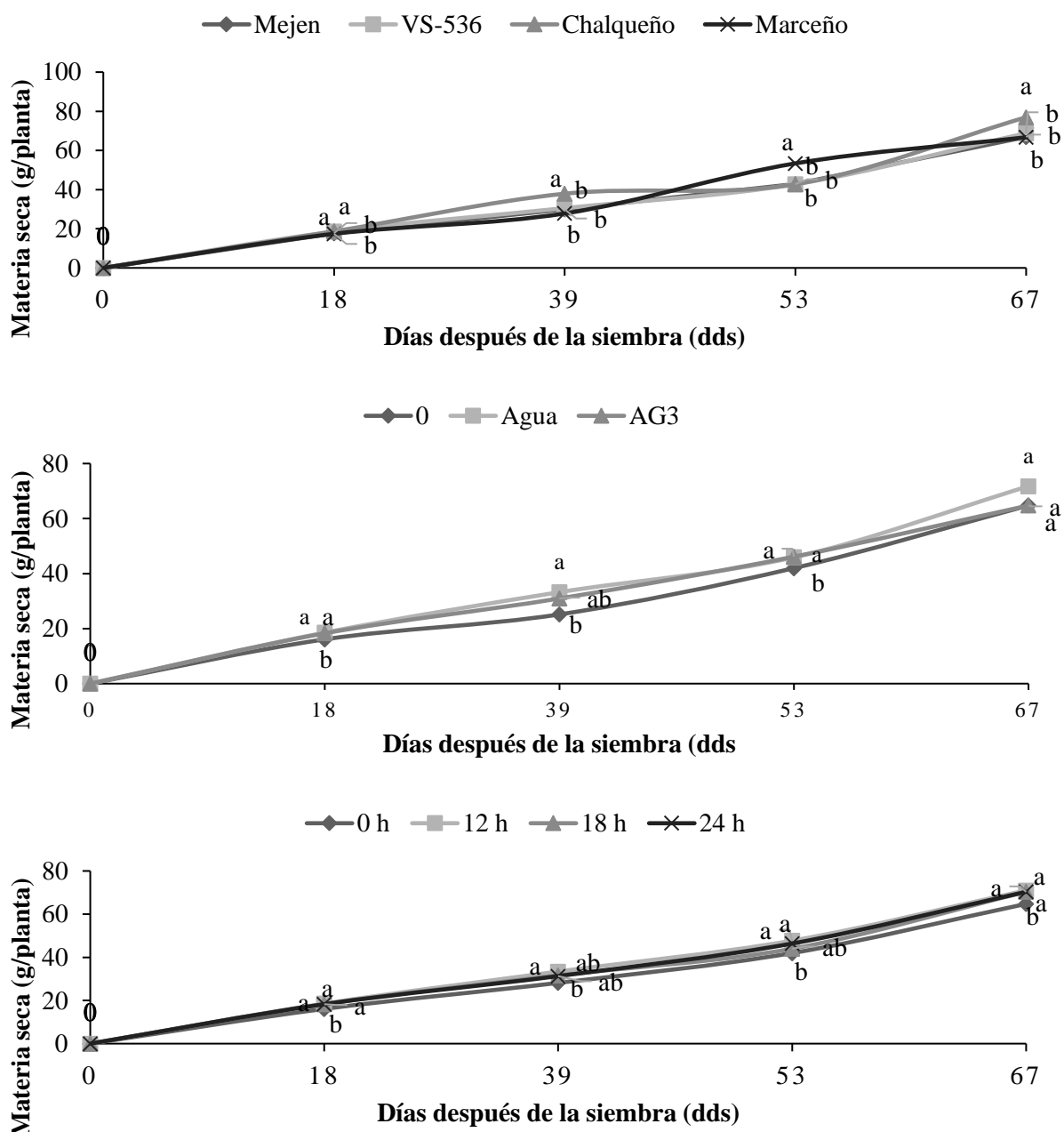
dds = días después de siembra; MJ = Mején, VS = VS-536, CH = Chalqueño, MR = Marceño.

MATERIA SECA AÉREA

A los 18 dds las variedades VS-536 y Chalqueño presentaron los mayores rendimientos de materia seca en comparación con las variedades Marceño y Mején. Sin embargo, al final del ciclo el maíz Chalqueño tuvo una producción de 77 g por planta, superior a las variedades Mején, VS-536 y Marceño (66 g por planta), (Figura 4A). La ganancia de materia seca en plantas provenientes de semillas osmoacondicionadas con AG₃ o agua a los 18, 39 y 53 dds mostró diferencias significativas superiores a los del testigo; estas diferencias no se observaron al final del ciclo (Figura 4B). En resumen se encontró que el osmoacondicionamiento con agua favoreció la ganancia de materia seca en hasta 72 g por planta, superior al testigo y al tratamiento con AG₃. Algunos investigadores reportan un aumento significativo de biomasa en plántulas al utilizar soluciones de osmoacondicionamiento en comparación con el testigo (Tian *et al.*, 2014). Por su parte Villa *et al.* (2012) reportan que el peso seco foliar y de la raíz fueron afectados significativamente por el tipo de solución de osmoacondicionamiento. Respecto a los tiempos de osmoacondicionamiento (12, 18 y 24 h) se presentaron diferencias significativas respecto al testigo, pero no entre tratamientos (Figura 4C). Por ello, considerando la practicidad, se recomienda osmoacondicionar la semilla por

12 horas, ya que a los 67 dds se alcanzó la mayor producción materia seca por planta (71 g). La interacción variedad * solución * tiempo (Cuadro 5) presentó diferencias significativas; los mayores rendimientos de materia seca se obtuvieron a los 18 y 67 dds en la variedad Chalqueño tratada con AG3, 18 horas y Chalqueño con agua por 12 horas. Al evaluar el efecto del osmoacondicionamiento de semillas de maíz se ha reportado que los tratamientos de osmoacondicionamiento presentan valores positivos y significativos en diferentes fechas de siembra, en comparación a las semillas no tratadas (Rahman *et al.*, 2014).

Figura 4. Incremento del contenido de materia seca en variedades de maíz criollo sometidas a tratamientos de osmoacondicionamiento. A) variedad, B) solución, C) tiempo.



Cuadro 5. Efecto de la interacción variedad*solución*tiempo de osmoacondicionamiento sobre el incremento de materia seca aérea (g) de plantas de maíz resultantes de semillas osmoacondicionadas.

Tratamiento	18 dds	39 dds	53 dds	67 dds
MJ testigo	14.9 f	31.8 abc	45.9 bcde	65.5 bc
MJ Agua, 12h	18.2 abcde	32.8 abc	45.6 bcde	67.3 abc
MJ Agua, 18 h	18.3 abcd	31.0 abc	43.4 cde	62.6 bc
MJ Agua, 24 h	17.9 abcde	31.5 abc	40.8 cde	68.9 abc
MJ AG ₃ , 12 h	18.5 abccd	27.1 abc	40.3 cde	69.8 abc
MJ AG ₃ , 18 h	18.4 abcd	27.7 abc	44.8 bcde	62.5 bc
MJ AG ₃ , 24 h	18.0 abcde	27.3 abc	39.8 cde	71.8 abc
VS testigo	16.8 cdef	23.7 c	43.3 cde	63.5 bc
VS Agua, 12 h	19.1 ab	34.3 abc	46.0 abcde	69.1 abc
VS Agua, 18 h	19.0 ab	32.4 abc	39.3 cde	67.8 abc
VS Agua, 24 h	18.9 ab	31.0 abc	50.0 abcd	57.9 bc
VS AG ₃ , 12 h	18.5 abcd	32.9 abc	43.8 cde	70.8 abc
VS AG ₃ , 18 h	18.7 abc	29.9 abc	41.0 cde	84.5 ab
VS AG ₃ , 24 h	18.8 ab	29.6 abc	36.0 de	68.0 abc
CH testigo	16.5 def	32.2 abc	33.8 e	63.1 bc
CH Agua, 12 h	19.0 ab	43.3 a	53.0 abc	97.4 a
CH Agua, 18 h	19.2 a	38.4 abc	38.3 cde	73.9 abc
CH Agua, 24 h	18.9 ab	36.5 abc	41.5 cde	77.8 ab
CH AG ₃ , 12 h	19.0 ab	41.4 ab	39.5 cde	65.4 bc
CH AG ₃ , 18 h	19.2 a	36.3 abc	45.8 bcde	72.8 abc
CH AG ₃ , 24 h	19.1 ab	37.3 abc	47.5 abcde	88.4 ab
MR testigo	16.2 ef	25.0 bc	45.0 bcde	66.9 abc
MR Agua, 12 h	18.5 abcd	28.0 abc	53.5 abc	82.9 ab
MR Agua, 18 h	18.2 abcde	32.4 abc	46.3 Abcde	66.4 abc
MR Agua, 24 h	17.5 abcde	27.3 abc	53.5 abc	69.4 abc
MR AG ₃ , 12h	17.8 abcde	27.3 abc	60.3 ab	45.5 c
MR AG ₃ , 18 h	16.6 def	24.8 bc	53.3 abc	72.4 abc
MR AG ₃ , 24 h	17.1 bcde	29.9 abc	62.0 a	63.6 bc

* Letras diferentes dentro de columnas indican diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$).

dds = días después de siembra; MJ = Mején, VS = VS-536, CH = Chalqueño, MR = Marceño.

4 CONCLUSIONES

Los tratamientos de osmoacondicionamiento para las variedades de maíz presentaron efectos por variedad, solución y tiempo de osmoacondicionamiento, así como por las interacciones de estos tres factores. En general, estos tratamientos mejoraron el porcentaje de emergencia y acortaron el tiempo de emergencia de las plántulas en comparación con semillas no tratadas. La variedad Chalqueño osmoacondicionada en solución de AG₃ por 24 h fue la que presentó el porcentaje de emergencia más alto y en menor tiempo (95.3 % a los 3 dds). En cuanto a la variable altura de planta, el mejor tratamiento resultó la variedad Chalqueño osmoacondicionada con solución de AG₃ por 18 h. La mayor producción de materia seca se presentó en maíz Chalqueño tratado con AG₃ o agua (ambas a 18 h). La variedad Chalqueño osmoacondicionada fue la que presentó la mayor altura y también la mayor área foliar. Los resultados encontrados concuerdan con numerosos autores que han reportado el osmoacondicionamiento como una técnica de bajo costo, bajo riesgo, de fácil aplicación y útil para mejorar la tasa de emergencia y el crecimiento de las plantas resultantes.

REFERENCIAS

- Afzal, I.; Basra, S. M. A.; Ahmad, N.; Cheema, M. A.; Warraich, E. A. and Khaliq, A. 2002. Effect of priming and growth regulator treatments on emergence and seedling growth of hybrid maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Agriculture y Biology*. 2(4): 303-306.
- Ahmmad, K. U.; Rahman, M. M. and Ahmed, M. 2014. Effect of osmopriming on the emergence of maize (*Zea mays* L.) seedling. *Journal of Agricultural Research*. 3(39): 427-435.
- Chen, K. and Arora, R. 2013. Priming memory invokes seed stress-tolerance. *Environmental and Experimental Botany*. (94): 33-45.
- Dezfuli, P. M.; Sharif-zadeh, F. and Janmohammadi, M. 2008. Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines (*Zea mays* L.). *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*. 3(3):22-25.
- Du, L. and Tuong, T. 2002. Enhancing the performance of dry-seeded rice: effects of seed priming, seedling rate, and time of seedling. In Pandey, S; Mortimer, M; Wade, L; Tuong, T. P; Lopes, K and Hardy, B. eds., *Direct Seeding: Research Strategies and Opportunities*. International Rice Research Institute, Manila, Philippines. 3 (3):241-256.
- FAOSTAT. 2017. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (dirección de estadística). Recuperado el 10 de junio de 2017, de http://faostat3.fao.org/browse/rankings/commodities_by_regions/S
- Farooq, M.; Basra, S. M. and Ahmad, N. 2007. Improving the performance of transplanted rice by seed priming. *Plant Growth Regulator*. 2(51): 129-137.
- Hassanpouraghdam, M.; Pardaz, J. and Akhtar, N. 2009. The effect of osmopriming on germination and seedling growth of *Brassica napus* L. under salinity conditions. *Journal Food Agriculture and Environment*. 2(7): 620-622.
- INEGI. 2014. Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), Conociendo en campo de México. Recuperado el 2016, de http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/agropecuarias/ena/ena2014/doc/presentacion/ena2014_pres.pdf
- Limami, A. M.; Rouillon, C.; Glevarec, G.; Gallais, A. and Hirel, B. 2002. Genetic and physiological analysis of germination efficiency in maize in relation to nitrogen metabolism reveals the importance of cytosolic glutamine synthetase. *Plant Physiol*. 4(130): 1860-1870.
- Mahboob, W.; Rehman, H.; Basra, S.; Afzal, I.; Abbas, M.; Naeem, M. and Sarwar, M. 2015. Seed priming improves the performance of late sown spring maize (*Zea mays*) through better crop stand and physiological attributes. *International Journal of Agriculture & Biology*. 3(17):491-498.
- Moosavi, A.; Afshari, R. T.; Sharif, Z. F. and Ayneband, A. 2009. Seed priming to increase salt and drought stress tolerance during germination in cultivated species of amaranth. *Seed Science Technology*. 3(37): 781-785.
- Moreno, M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas (3a. ed.). Universidad Nacional Autónoma de México. México 393 p.
- Nadal, A. 2000. El caso del maíz mexicano en el NAFTA: Variabilidad genética y liberación comercial. *Biodiversidad*. 24:3-12.

Rehman, H.; Nawaz, Q.; Basra S. M. A.; Afzal, I.; Yasmeen, A. and Hassan, F. 2014. Seed priming influence on early crop growth, phenological development and yield performance of linola (*Linum usitatissimum* L.). J. Integr Agric. 5(13): 990-996.

Rehman, H.; Iqbal, H.; Basra, S. M. A.; Afzal, I.; Farooq, M.; Wakeel, A. and Wang, N. 2015. Seed priming induced early seedling vigor improves growth and productivity of spring maize. Journal of Integrative Agriculture. 9(13):1745-1754.

Sánchez, G. J. J.; Goodman, M. M. A and Stuber, C.W. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. Economic Botany. 1(54): 43-59.

Tian, Y.; Guan, B.; Zhou, D.; Yu, J.; Li, G. and Lou, Y. 2014. Responses of seed germination, seedling growth, and seed yield traits to seed pretreatment in maize (*Zea mays* L.). The Scientific World Journal. 2014:1-8.

Turrent, F. A.; Cortés, F. J.; Espinosa, C. A.; Mejia, A. H. y Serratos, H. J. 2010. ¿Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico? Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 4(1):631-646.

Vidal-Martínez, V. A.; Herrera C. F.; Coutiño E. B.; Sánchez, G. J. J.; Ron, P. J.; Ortega, C. A. y Guerrero H. M. 2010. Identificación y localización de una nueva especie de *Tripsacum* spp. en Nayarit, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 4(33):27-30.

Villa, C. M. M.; Catalán, V. E. A.; Inzunza, I. M. A.; Román, L. A. y Macías, R. H. 2012. Respuesta de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) al acondicionamiento osmótico. AGROFAZ. 3(12): 25-29.

Zhang, F.; Yu, J.; Johnston, C. R.; Wang, Y.; Zhu, K.; Lu, F.; Zhang, Z. and Zou, J. 2015. Seed priming with Polyethylene glycol induces physiological changes in Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) seedlings under suboptimal soil moisture environments. PLOS ONE. 10(10): 371-386.