

EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SIMULADO CON PEG 6000 EN LA GERMINACIÓN EN TOMATE (*Solanum* sección *Lycopersicon*)

Effect of water stress simulated with PEG 6000 on tomato seed germination (*Solanum* section *Lycopersicon*)

Marilyn Florido¹✉, Lourdes Bao², Regla M. Lara¹, Yaniel Castro¹,
Rosa Acosta¹ y Marta Álvarez¹

ABSTRACT. In the current investigation, the drought stress tolerance was evaluated on seed germination of 27 tomato accessions. This study was carry out first on two tomato accessions contrasting (Ciapan 31-5 and Campbell-28) subjected to different polyethylenglycol (PEG 6000) treatments (0,25; 0,5; 0,75 and 1 MPa), including a control treatment with distilled water. The results showed that the percentage of germination decreased with the increase of the osmotic potential from -0,5 MPa. This potential was used to evaluate the sample of germplasm composed of 27 accessions. A different response was obtained in the behavior of the accessions against simulated water stress with PEG-6000, being the accessions Ciapan-31-5, Rilia, Mex-121 A, Rojo Veracruz, LA-2128 and LA-1255 those that presented higher percentages of germination in these conditions. These accessions can be used as progenitors to increase tolerance to water stress in this phase of the crop.

Key words: abiotic stress, germination, drought,
Solanum lycopersicum L.

RESUMEN. En el presente trabajo se evaluó la tolerancia al estrés hídrico en 27 accesiones de tomate durante la etapa de germinación. El estudio se efectuó primeramente en dos accesiones contrastantes (Ciapan 31-5 y Campbell-28) sometidas a diferentes tratamientos de polietilenglicol-6000 (PEG 6000) (0,25; 0,5; 0,75 y 1 MPa), incluyendo un tratamiento control con agua destilada. Los resultados mostraron que el porcentaje de germinación disminuyó con el incremento del potencial osmótico a partir de -0,5 MPa. Este potencial se utilizó para evaluar la muestra de germoplasma compuesta por 27 accesiones. Se obtuvo una respuesta diferenciada en el comportamiento de las accesiones frente al estrés hídrico simulado con PEG-6000, siendo las accesiones Ciapan-31-5, Rilia, Mex-121 A, Rojo Veracruz, LA-2128 y LA-1255 las que presentaron mayores porcentajes de germinación en estas condiciones. Estas accesiones pueden ser utilizadas como progenitores para incrementar la tolerancia al estrés hídrico en esta fase del cultivo.

Palabras clave: estrés abiótico, germinación, sequía,
Solanum lycopersicum L.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático tiene un impacto negativo en la producción agrícola. En este sentido, se sugiere que casi el 90 % de la superficie terrestre mundial se ve afectada por factores de estrés abióticos en algún momento a lo largo del período de crecimiento (1), siendo el estrés hídrico crítico para el desarrollo y productividad de los cultivos (2,3), de ahí que en el futuro, una de las alternativas será cultivar especies tolerantes a condiciones desfavorables (1,4).

La mayoría de los cultivos, incluyendo el tomate (*Solanum lycopersium* L.) son sensibles al estrés hídrico en diferentes fases de desarrollo, desde la germinación hasta el cuajado de los frutos (5). La germinación, es la etapa esencial en el crecimiento y desarrollo de las plantas, pues una buena germinación puede garantizar el rápido establecimiento y uniformidad de los cultivos (6). Es por ello que resulta de gran importancia que las semillas sean capaces de germinar rápida y uniformemente en diferentes condiciones ambientales, sobretodo, si el cultivo se establece por la siembra de semillas directamente en el campo en lugar de utilizar los trasplantes. En condiciones óptimas de germinación, la mayoría de las semillas de tomate germinan de 2-5 días (7). Sin embargo, en condiciones de estrés hídrico,

¹ Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Gaveta postal No.1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32700

² Facultad de Biología, Universidad de la Habana

✉ mflorido@inca.edu.cu

la germinación se retrasa o es completamente inhibida producto de alteraciones durante la imbibición de la semilla y/o la activación de procesos metabólicos como la rehidratación, mecanismos de reparación y la emisión de la radícula. Estas alteraciones dependen de la intensidad y la duración de estrés, así como el fondo genético de la semilla (8-10).

Es por ello que se han empleado diversos métodos para identificar genotipos tolerantes al déficit hídrico durante la etapa de germinación (11). En este sentido, las técnicas de selección *in vitro* que involucran el uso del polietilenglicol (PEG) para inducir estrés osmótico son de las más utilizadas para el tamizaje de genotipos y estudiar el estrés hídrico en diversos cultivos (11-16). Varios informes han demostrado que estos procedimientos son confiables para la selección de genotipos deseables, así como para estudiar en detalle el estrés hídrico en plantas (17,18). La identificación de genotipos de tomate que pueden resistir condiciones de sequía es vital para aumentar la producción del cultivo y esto solo se puede lograr explorando el germoplasma tolerante a la sequía en tomate.

Teniendo en cuenta lo anterior se realizó el presente trabajo con el objetivo de evaluar el efecto del estrés hídrico simulado con polietilenglicol-6000 (PEG 6000) en la germinación del tomate para seleccionar genotipos tolerantes a la sequía y su empleo en futuros programas de mejoramiento genético.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron semillas de dos accesiones de tomate con diferente grado de tolerancia al estrés hídrico (*Solanum lycopersicum* cv. Campbell-28, cultivar comercial y Ciapan 31-5, accesión tolerante, de *S. pimpinellifolium* L. ambas accesiones pertenecen a la colección de trabajo del germoplasma de tomate conservado en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Las semillas se desinfectaron durante 5 minutos con hipoclorito de sodio (3 % v/v) y posteriormente se lavaron tres veces con agua destilada y se ubicaron en placas petri (10,5 x 0,8 cm) con 10 mL de soluciones de PEG 6000 (PEG) (*Sigma-Aldrich Chemie GmbH*, Steinheim, Alemania) para simular el estrés hídrico, con papel de filtro (Whatman 42) como soporte.

El déficit hídrico se provocó con cinco niveles de potencial osmótico (control; -0,25; -0,5; -0,76 y -1,0 MPa), que se obtuvieron a partir de diferentes concentraciones de PEG. El control fue con agua destilada (sin PEG) y para el resto de los potenciales osmóticos las concentraciones

de PEG se calcularon según la ecuación de Michel y Kaufman (19).

$$(\Psi_s) = - (1,18 \times 10^{-2}) C - (1,18 \times 10^{-4}) C^2 + (2,67 \times 10^{-4}) CT + (8,39 \times 10^{-7}) C^2T$$

donde: Ψ_s potencial osmótico (MPa)

C: Concentración de PEG-6000 (g kg⁻¹ H₂O)

T: Temperatura (°C).

Se utilizaron tres placas petri por tratamiento, y estas se colocaron en una cámara de crecimiento a una temperatura de 25±2 °C, un fotoperíodo de 16/8 (luz/oscuridad) y una intensidad luminosa de 150 μmol m⁻² s⁻¹. El experimento se repitió tres veces en el tiempo.

Para evaluar el porcentaje de germinación de las semillas se efectuaron recuentos diarios del número de semillas germinadas durante 15 días a partir de su introducción en la cámara de crecimiento. Las semillas se consideraron germinadas cuando presentaron una emisión de 2 mm de radícula a través de la cubierta seminal (germinación *sensu stricto*).

A los datos obtenidos se le realizó un ANOVA de clasificación simple, modelo efectos fijos. Las diferencias significativas entre las medias de los diferentes tratamientos se verificaron por la prueba de Tukey HSD al 95 %. Los procesamientos de datos se realizaron en el paquete de programas SPSS versión 21.0 sobre Windows.

Una vez realizado el análisis con las dos accesiones contrastantes se procedió a evaluar la germinación en 27 accesiones de tomate pertenecientes a la colección de trabajo del INCA (Tabla I). Para ello se evaluó el porcentaje de germinación y el promedio de días que estas demoraron en alcanzar el 50 % de germinación (G50). Se utilizaron solamente los tratamientos control y el de potencial osmótico que mayor divergencia mostró en el análisis anterior.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto del estrés hídrico inducido por PEG en el porcentaje de germinación de las accesiones Campbell-28 y Ciapan 31-5 se presenta en las Figuras 1 y 2. Los resultados muestran un 100 % de germinación para el tratamiento control en ambas accesiones, lo que demuestra uniformidad y calidad de las semillas utilizadas en el estudio. En este caso, a los tres días germinó aproximadamente el 71 % de las semillas de la accesión tolerante, mientras que Campbell-28 solo presentó un 49 % de germinación, lográndose el 100 % de semillas germinadas a los seis días en ambas accesiones (Figura 2).

Similar comportamiento presentaron las semillas expuestas a potencial osmótico de -0,25MPa. Sin embargo, a potenciales osmóticos superiores se observó una disminución significativa

Tabla I. Accesiones utilizadas en el estudio y su origen

| Accesión | Especie | Origen |
|-----------------------|--|-----------|
| 1. Amalia | <i>S. lycopersicum</i> | Cuba |
| 2. AN-104-1 | <i>S. lycopersicum</i> | España |
| 3. Campbell-28 | <i>S. lycopersicum</i> | EUA |
| 4. CI-1131-00-7-2-0-9 | <i>S. lycopersicum</i> | Taiwan |
| 5. Claudia | <i>S. lycopersicum</i> | Cuba |
| 6. CO-7040 | <i>S. lycopersicum</i> | Cuba |
| 7. Lignon | <i>S. lycopersicum</i> | Cuba |
| 8. Mara | <i>S. lycopersicum</i> | Cuba |
| 9. Mariela | <i>S. lycopersicum</i> | Cuba |
| 10. Mayle | <i>S. lycopersicum</i> | Cuba |
| 11. Mercy | <i>S. lycopersicum</i> | Cuba |
| 12. Rilia | <i>S. lycopersicum</i> | Cuba |
| 13. Roma | <i>S. lycopersicum</i> | Italia |
| 14. Santa Clara | <i>S. lycopersicum</i> | EUA |
| 15. Tropic | <i>S. lycopersicum</i> | EUA |
| 16. Vyta | <i>S. lycopersicum</i> | Cuba |
| 17. Yaily | <i>S. lycopersicum</i> | Cuba |
| 18. Nagcarlang | <i>S. lycopersicum</i> var. Cerasiforme | Filipinas |
| 19. LA-2807 | <i>S. lycopersicum</i> var. Cerasiforme | Bolivia |
| 20. LA2871 | <i>S. lycopersicum</i> var. Cerasiforme | Bolivia |
| 21. P-531 | <i>S. lycopersicum</i> var. Cerasiforme | Cuba |
| 22. Ciapan 31-5 | <i>S. pimpinellifolium</i> | México |
| 23. Mex-121-A | <i>S. pimpinellifolium</i> | México |
| 24. Rojo Veracruz | <i>S. pimpinellifolium</i> | México |
| 25. LA-0094 | <i>S. habrochaites</i> | Perú |
| 26. LA-1255 | <i>S. habrochaites</i> | Perú |
| 27. LA-2128 | <i>S. habrochaites</i> | Perú |

del porcentaje de germinación con el aumento de las concentraciones de PEG empleadas. Realmente, el estrés hídrico simulado con PEG solo superó el G50 con potenciales hídricos de hasta -0,5 MPa, a partir de este potencial ninguna de las dos accesiones logró alcanzar un 50 % de germinación (Figura 1). Es de destacar que a este potencial osmótico (-0,5 MPa) se presentaron diferencias significativas con respecto al control en Campbell-28, no así en la accesión Ciapan-31-5, lo que indica que posee un mayor grado de tolerancia al estrés hídrico. En ambas accesiones se prolongó el tiempo de germinación, siendo menor en Ciapan 31-5 (Figura 2).

La disminución del porcentaje de germinación con incrementos del potencial hídrico puede deberse a cambios en los procesos metabólicos y enzimáticos presentes en las semillas como al desarrollo de metabolitos inducidos por el estrés en la generación de especies reactivas de oxígeno, a una reducción de la difusión del agua a través del tegumento y la absorción de agua por las semillas que provoca un déficit de hidratación (8,20,21).

Diferentes autores señalan que el estrés hídrico afecta grandemente el proceso germinativo y señalan que la germinación es la fase crítica para el establecimiento y desarrollo de las plantas, pues garantiza la supervivencia de éstas (20,22,23). También se informa que el polietilenglicol resulta un osmolito eficiente para simular estrés hídrico en los estudios de germinación, por ser un compuesto inerte y no tóxico (12,13).

Una vez conocida la respuesta diferencial frente al estrés hídrico de las accesiones Campbell-28 y Ciapan 31-5 se procedió a evaluar el porcentaje de germinación en la colección de trabajo compuesta por 27 accesiones de

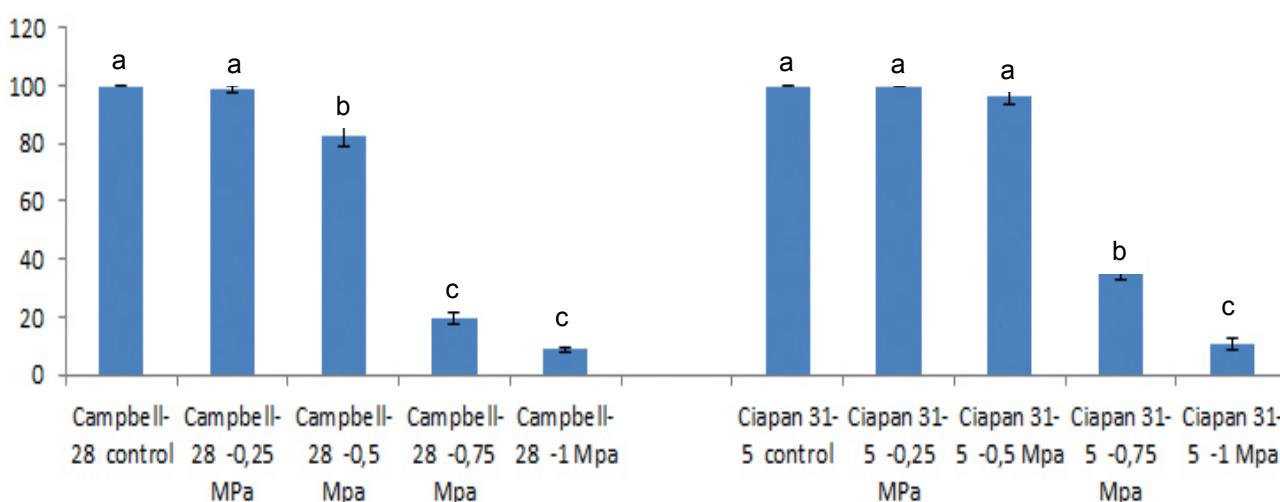


Figura 1. Efecto del estrés hídrico inducido por diferentes concentraciones de PEG 6000 en el porcentaje de germinación de las semillas de las accesiones Campbell 28 y Ciapan 31-5

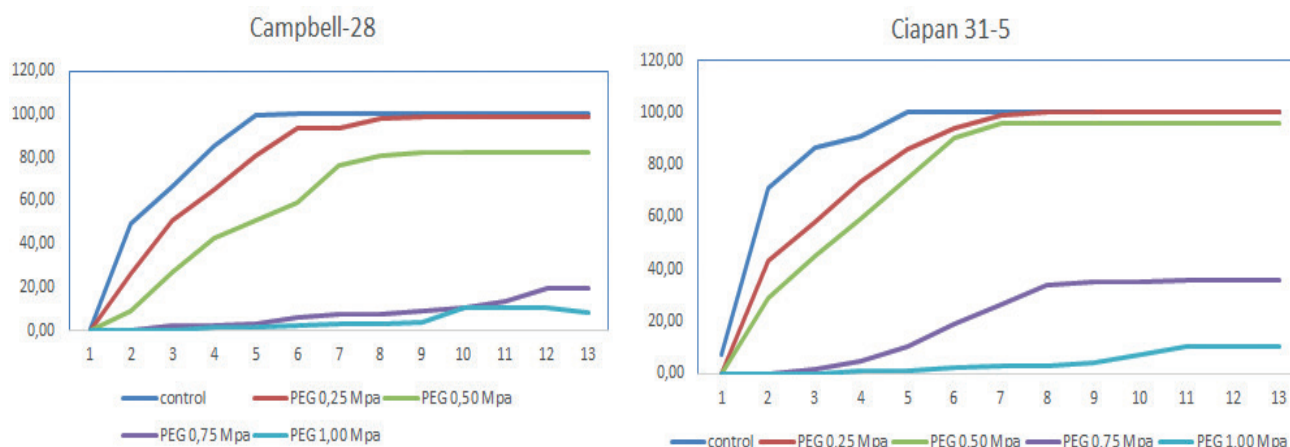


Figura 2. Efecto del estrés hídrico inducido por diferentes concentraciones de PEG 6000 en la prolongación de la germinación de las semillas de las accesiones Campbell 28 y Ciapan 31-5

tomate. Para ello se utilizó el potencial osmótico de $-0,5\text{MPa}$, pues potenciales superiores inhibían este proceso.

Como se observa en la Tabla II no se mostraron diferencias significativas para los porcentajes de germinación y días a alcanzar el 50 % de germinación en el tratamiento control, lo que indica que las semillas utilizadas en el estudio presentaban buena calidad fisiológica. Todas las accesiones mostraron porcentajes de germinación superiores al 98 % y lograron el 50 % de germinación antes de los cuatro días. Sin embargo, cuando las semillas se trataron con PEG se presentaron diferencias significativas para estos indicadores.

En condiciones de estrés simulado con PEG 6000 se incrementó el tiempo de germinación de todas las accesiones y se observó una disminución del porcentaje de germinación en la mayoría de ellas; solo dos accesiones Ciapan-31-5 y LA-1255 de *S. pimpinellifolium* y *S. peruvianum*, respectivamente, no mostraron afectaciones para este carácter. Con respecto a los días a la germinación se puede observar que 'Ciapan-31-5', 'Mex-121 A', 'LA-2871', 'LA-1255' y 'LA-2128' fueron las que demoraron menos días en lograr un 50 % de germinación, mientras 'Santa Clara' fue la de peor comportamiento inferior, seguida de 'CO-7040' y 'Mercy', que demoraron aproximadamente 10 días para lograr un 50 % de germinación. Asimismo, las accesiones más tolerantes fueron 'Rilia', 'Ciapan-31-5', 'Mex-121 A', 'Rojo Veracruz', 'LA-2871', 'LA-1255' y 'LA-2128', las que presentaron los mayores porcentajes de germinación, mientras que 'Santa Clara' y 'CO-7040', solo lograron 58,67 y 60 % de germinación, respectivamente. Los genotipos 'Tropic', 'Mercy', 'Mayle' y 'AN-104-1', presentaron afectaciones de aproximadamente el 30 % de la germinación, con respecto al control. Es de destacar los altos porcentajes de germinación encontrados en las accesiones de *S. pimpinellifolium*, especie que presenta tolerancia al déficit hídrico (7).

La reducción del porcentaje de germinación en presencia de estrés hídrico simulado con PEG-600 también ha sido informada en el cultivo por diversos autores (11,13,24). Se ha encontrado similar respuesta en trigo (3,14,25,26), cebada (27), caupí (15), maíz (28), canola (29) y otros. Al respecto, se informa que la menor afectación en la germinación de las semillas de una accesión con respecto a la otra, ofrece ventajas para un establecimiento, crecimiento y desarrollo efectivo de sus plántulas en condiciones de déficit hídrico (3,21). Estos autores indican la utilidad potencial que pueden tener estos indicadores en la selección de materiales tolerantes a la sequía, aspecto de gran importancia, pues los éxitos de la evaluación de la tolerancia al estrés hídrico en campo son bajos y muy variables, debido a la alta influencia ambiental (7); por lo que los métodos de laboratorio constituyen una opción válida para discriminar genotipos en etapas tempranas de los programas de mejora. En tal sentido, se ha indicado que uno de los métodos más difundidos para determinar la tolerancia de las plantas al estrés hídrico es la observación de la capacidad germinativa de las semillas en esas condiciones (14,21,26).

Los resultados obtenidos se corresponden con los encontrados por diversos autores en el cultivo (5,9) quienes señalan que la mayoría de los cultivares comerciales de tomate son sensibles a este estrés durante esta etapa. Sin embargo, las fuentes de la tolerancia se han identificado en las especies silvestres, incluyendo *S. pennellii* y *S. pimpinellifolium*, fundamentalmente (7), pueden ser de gran ayuda en futuros programas de mejoramiento genético. Es por ello, que el buen desempeño durante la germinación es importante para garantizar el establecimiento de plantas de cultivo rápido y uniforme (8,30).

Tabla II. Porcentaje de germinación final y tiempo en lograr el 50 % de germinación (G50) de las accesiones de tomate en condiciones de estrés

| | Concentración de PEG | | | |
|-----------------------|----------------------|-----------------|-----------|-----------------|
| | 0 MPa | | 0,5 MPa | |
| | G50 | Germinación (%) | G50 | Germinación (%) |
| 1. Amalia | 2,00 | 100,00 | 6,82 defg | 89,33 bcde |
| 2. AN-104-1 | 3,11 | 99,33 | 7,59 gh | 70,00 j |
| 3. Campbell-28 | 2,99 | 100,00 | 5,17 bc | 82,12 efgh |
| 4. CI-1131-00-7-2-0-9 | 3,29 | 98,67 | 8,96 hij | 74,00 hij |
| 5. Claudia | 2,56 | 100,00 | 6,08 cd | 78,67 ghij |
| 6. CO-7040 | 2,47 | 100,00 | 10,36 jk | 60,00 k |
| 7. Lignon | 3,28 | 99,33 | 6,04 cd | 84,00 cdef |
| 8. Mara | 2,09 | 100,00 | 6,16 cdef | 90,67 bcde |
| 9. Mariela | 2,32 | 100,00 | 5,95 cd | 90,00 bcde |
| 10. Mayle | 2,41 | 100,00 | 7,92 ghi | 72,67 ij |
| 11. Mercy | 2,65 | 100,00 | 9,53 jk | 70,67 j |
| 12. Rilia | 2,67 | 99,33 | 7,51 efg | 92,00 abc |
| 13. Roma | 2,25 | 100,00 | 6,09 cde | 88,00 bcdef |
| 14. Santa Clara | 3,73 | 100,00 | 10,65 k | 58,67 k |
| 15. Tropic | 3,68 | 98,67 | 9,03 ij | 70,00 j |
| 16. Vyta | 2,43 | 100,00 | 8,05 ghi | 82,67 defg |
| 17. Yaily | 2,31 | 100,00 | 5,72 cd | 91,33 bcd |
| 18. Nagcarlang | 2,20 | 100,00 | 7,08 defg | 89,33 bcde |
| 19. LA-2807 | 2,83 | 100,00 | 9,88 jk | 80,00 fghi |
| 20. LA2871 | 2,91 | 100,00 | 4,92 abc | 90,00 bcde |
| 21. P-531 | 3,20 | 100,00 | 7,57 fgh | 89,33 bcde |
| 22. Ciapan 31-5 | 1,81 | 100,00 | 3,77 ab | 100,00 a |
| 23. Mex-121-A | 2,00 | 100,00 | 4,19 ab | 96,00 ab |
| 24. Rojo Veracruz | 3,20 | 100,00 | 5,16 bc | 94,67 ab |
| 25. LA-0094 | 3,18 | 100,00 | 6,77 defg | 87,33 bcdef |
| 26. LA-1255 | 2,06 | 100,00 | 3,63 a | 100,00 a |
| 27. LA-2128 | 2,19 | 98,67 | 4,93 abc | 95,33 ab |
| Media | 2,66 ns | 99,78 ns | 6,88 | 83,88 *** |

Letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($\alpha < 0,05$)

En este estudio se demostró que existen fuentes potenciales de tolerancia al déficit hídrico durante la germinación en las accesiones estudiadas, las que pueden ser utilizadas como progenitores en futuros programas de mejora con este fin, por lo que el monitoreo de la tolerancia al estrés hídrico en esta fase puede ser útil para evitar las pérdidas que se producen en condiciones de déficit hídrico (31).

CONCLUSIONES

- ◆ El estrés hídrico simulado con PEG-6000 afecta la germinación de las semillas de tomate desde potenciales osmóticos de -0,5 MPa. Mientras que potenciales superiores inhibieron la germinación de las semillas.
- ◆ Se observó una respuesta diferenciada de las diferentes accesiones frente al estrés hídrico. Las accesiones 'Rilia', 'Ciapan-31-5', 'Mex-121 A', 'Rojo Veracruz', 'LA-2871', 'LA-1255' y 'LA-2128' presentaron los mayores porcentajes de germinación en estas condiciones, por lo que pueden ser utilizadas como progenitores en futuros programas de mejora.

- ◆ Se evidencia la utilidad del PEG-6000 para la selección de materiales tolerantes al déficit hídrico en las etapas tempranas de los programas de mejora.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cramer GR, Urano K, Delrot S, Pezzotti M, Shinozaki K. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biology*. 2011;11(1):163. doi:10.1186/1471-2229-11-163
2. Hasanuzzaman M, Nahar K, Alam MM, Roychowdhury R, Fujita M. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 2013;14(5):9643-84. doi:10.3390/ijms14059643
3. Roni MZK, Mahjuba A, Oue H, Liton M, Sadia S, Uddin AJ. Influences of water stress on seed germination and early growth stage of five wheat genotypes. *Bangladesh Res*. 2015;10(4):351-7.

4. Lopes MS, El-Basyoni I, Baenziger PS, Singh S, Royo C, Ozbek K, *et al.* Exploiting genetic diversity from landraces in wheat breeding for adaptation to climate change. *Journal of experimental botany*. 2015;66(12):3477-86. doi:10.1093/jxb/erv122
5. Saad FF, El-Mohsen AAA, El-Shafi MAA, Al-Soudan IH. Effective Selection Criteria For Evaluating Some Barley Crosses For Water Stress Tolerance. *Agric. Biol.* 2014;1(3):112-23. doi:10.15192/PSCP.AAB.2014.1.3.112123
6. Maghsoudi K, Arvin MJ. Response of seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to interactive effect of salinity and salicylic acid. *J. Plant Ecophysiol.* 2010;2:91-6.
7. Razdan MK, Mattoo A, editores. Tolerance to Abiotic Stresses. En: Genetic improvement of solanaceous crops. Vol. 2: Tomato. Enfield, NH: Science Publ; 2007.
8. Mohammadzad HA, Khazaei I, Ghafari M. Effect of salt and drought stresses on seed germination and early seedling growth of nepeta persica. *International Journal of Farming and Allied Sciences.* 2013;2(21):895-9.
9. Foolad MR, Panthee DR. Marker-Assisted Selection in Tomato Breeding. *Critical Reviews in Plant Sciences.* 2012;31(2):93-123. doi:10.1080/07352689.2011.616057
10. Farshadfar E, Shebanirad A, Soltanian M. Screening landraces of bread wheat genotypes for drought tolerance in the field and laboratory. *International Journal of Farming and Allied Sciences.* 2014;3(3):304-11.
11. George S, Jatoi SA, Siddiqui SU. Genotypic differences against PEG simulated drought stress in tomato. *Pak. J. Bot.* 2013;45(5):1551-6.
12. Muscolo A, Sidari M, Anastasi U, Santonoceto C, Maggio A. Effect of PEG-induced drought stress on seed germination of four lentil genotypes. *Journal of Plant Interactions.* 2014;9(1):354-63.
13. Basha PO, Sudarsanam G, Reddy MMS, Sankar S. Effect of PEG induced water stress on germination and seedling development of tomato germplasm. *Recent Scientific Res.* 2015;6(5):4044-9.
14. Faisal S. Physiological Studies on Six Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Genotypes for Drought Stress Tolerance at Seedling Stage. *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal [Internet].* 2016 [citado 19 de febrero de 2018];1(2). doi:10.19080/ARTOAJ.2016.01.555559
15. Jain C, Saxena R. Varietal differences against PEG induced drought stress in cowpea. *Octa Journal of Environmental Research.* 2016;4(1):58-62.
16. Duan H, Zhu Y, Li J, Ding W, Wang H, Jiang L, *et al.* Effects of drought stress on growth and development of wheat seedlings. *International journal of agriculture and biology.* 2017;19(5):1119-24. doi:10.17957/IJAB/15.0393
17. Khodarahmpour Z. Effect of drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) on germination indices in corn (*Zea mays* L.) hybrids. *African Journal of Biotechnology.* 2011;10(79):18222-7. doi:10.5897/AJB11.2639
18. Kausar A, Ashraf MY, Ali I, Niaz M, Abbass Q. Evaluation of sorghum varieties/lines for salt tolerance using physiological indices as screening tool. *Pak. J. Bot.* 2012;44(1):47-52.
19. Michel BE, Kaufmann MR. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant physiology.* 1973;51(5):914-6. doi:10.1104/pp.51.5.914
20. Meneses CHSG, Bruno R de LA, Fernandes PD, Pereira WE, Lima LHG de M, Lima MM de A, *et al.* Germination of cotton cultivar seeds under water stress induced by polyethyleneglycol-6000. *Scientia Agricola.* 2011;68(2):131-8. doi:10.1590/S0103-90162011000200001
21. Almas DE, Bagherikia S, Mashaki KM. Effects of Salt and Water Stresses on Germination and Seedling Growth of *Artemisia vulgaris* L. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences.* 2013;6(11):762-5.
22. Mahesh K, Balaraju P, Ramakrishna B, Rao SSR. Effect of brassinosteroids on germination and seedling growth of radish (*Raphanus sativus* L.) under PEG-6000 Induced Water Stress. *American Journal of Plant Sciences.* 2013;4(12):2305-13. doi:10.4236/ajps.2013.412285
23. Siddiqui MH, Al-Whaibi MH. Role of nano-SiO₂ in germination of tomato (*Lycopersicon esculentum* seeds Mill.). *Saudi Journal of Biological Sciences.* 2014;21(1):13-7. doi:10.1016/j.sjbs.2013.04.005
24. Mendhulkar VD, Nish K. Physiological and biochemical effects of polyethylene glycol (PEG) induced drought stress in four varieties of indian tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). *Int. J. Pharm. Bio. Sci.* 2015;6(4):971 – 980.
25. Almaghrabi OA. Impact of drought stress on germination and seedling growth parameters of some wheat cultivars. *Life sci. J.* 2012;9(1):590-8.
26. Jatoi SA, Latif MM, Arif M, Ahson M, Khan A, Siddiqui SU. Comparative assessment of wheat landraces against polyethylene glycol simulated drought stress. *Sci. Tech. and Dev.* 2014;33:1-6.
27. Hellal FA, El-Shabrawi HM, El-Hady MA, Khatab IA, El-Sayed SAA, Chedly Abdelly C. Influence of PEG induced drought stress on molecular and biochemical constituents and seedling growth of Egyptian barley cultivars. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology [Internet].* 2017 [citado 19 de febrero de 2018]; doi:10.1016/j.jgeb.2017.10.009
28. Liu M, Li M, Liu K, Sui N. Effects of drought stress on seed germination and seedling growth of different maize varieties. *Journal of Agricultural Science.* 2015;7(5):231-40. doi:10.5539/jas.v7n5p231
29. Channaoui S, Kahkahi RE, Charafi J, Mazouz H, Fechtali ME, Nabloussi A. Germination and seedling growth of a set of rapeseed (*Brassica napus*) Varieties under drought stress conditions. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology.* 2017;2(1):487-94. doi:10.22161/ijeab/2.1.61
30. Yari L, Zareyan A, Sheidaie S, Khazaei F. Influence of high and low temperature treatments on seed germination and seedling vigor of rice (*Oryza sativa* L.). *World Appl. Sci. J.* 2012;16(7):1015-8.
31. Shabir RN, Waraocj EA. Combined effects of drought stress and npk foliar spray on growth, physiological processes and nutrient uptake in wheat. *Pakistan Journal of Botany.* 2015;47(4):1207-16.

Recibido: 8 de diciembre de 2016
Aceptado: 26 de diciembre de 2017

