

Artículo científico

Uso de brasinoesteroides como estrategia para aumentar la tolerancia a estrés salino en plantas de petunia

Use of brassinosteroids as a strategy to increase tolerance to saline stress in petunia plants

R.N. Furio^{1,2}, N.N. Medrano^{2,3}, Y. Coll⁴, G.A. Pérez^{2,3}, J.C. Díaz Ricci⁵, S.M. Salazar^{2,3*}

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

²Estación Experimental Agropecuaria Famaillá, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ruta Prov. 301 km 32 (4132), Famaillá, Tucumán, Argentina.

³Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Avenida Kirchner 1900 (4000ACS) San Miguel de Tucumán. Tucumán, Argentina.

⁴Centro de Estudio de Productos Naturales, Facultad de Química, Universidad de La Habana. Vedado (10400) La Habana, Cuba.

⁵Instituto Superior de Investigaciones Biológicas (INSIBIO), CONICET-UNT, e Instituto de Química Biológica "Dr. Bernabé Bloj", Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia, Universidad Nacional de Tucumán. Ayacucho 471 (4000ILI) San Miguel de Tucumán. Tucumán, Argentina. *Correo electrónico: salazar.sergio@inta.gob.ar

Resumen

La salinidad es uno de los factores ambientales más perjudiciales para las plantas, y puede limitar fuertemente la productividad y calidad de los cultivos. Muchas especies ornamentales cultivadas en contenedores son sensibles a la acumulación de sales en la zona radicular. Por lo tanto, es necesario estudiar alternativas de manejo que permitan aumentar la tolerancia a la salinidad para minimizar el daño ocasionado por dicho estrés. El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del brasinoesteroide BB16, sobre el crecimiento y desarrollo floral de *Petunia x hybrida* var. Limbo Red bajo condiciones de salinidad. Las plantas fueron tratadas por aspersión hasta punto de goteo con BB16 0,1 mg.l⁻¹, y luego sometidas a estrés salino durante 45 días, mediante riego con soluciones a concentraciones crecientes de NaCl (50, 100, 150 y 200 mM). Las plantas tratadas con BB16, evidenciaron una mayor longitud radicular y un mayor diámetro de flores en todas las concentraciones salinas evaluadas; un mayor número de flores a 50 y 200 mM de NaCl y una reducción en el tiempo de floración en condiciones de riego con NaCl 200 mM, con respecto a las plantas control. También se pudo observar que las plantas tratadas presentaron una menor pérdida de clorofila a las concentraciones de 150 y 200 mM de NaCl. El marcado efecto protector de BB16 en plantas de petunia expuestas a estrés salino, permitiría atenuar los efectos perjudiciales minimizando las pérdidas de productividad y calidad que ocasiona en el cultivo.

Palabras clave: Brasinoesteroides; *Petunia*; Salinidad.

Abstract

Salinity is one of the most damaging environmental factors for plants, and can severely limit the productivity and quality of crops. Many container-grown ornamental species are sensitive to salt accumulation in the root zone. Therefore, it is necessary to study other management alternatives that allow increasing tolerance to salinity to minimize the damage caused by said stress. The objective of this work was to study the effect of the brassinosteroid BB16 on the growth and floral development of *Petunia x hybrida* var. limbus network under conditions of increasing salinity. The plants were treated by aspersion to dripping point with BB16 0.1 mg.l⁻¹, and then subjected to saline stress for 45 days, by irrigation with solutions at increasing concentrations of NaCl (50, 100, 150 and 200 mM). Plants treated with BB16, showed a greater root length and a greater diameter of flowers in all the saline concentrations evaluated; a greater number of flowers at 50 and 200 mM NaCl and a reduction in flowering time under irrigation conditions with 200 mM NaCl, with respect to control plants. It was also possible to observe that the petunia plants treated with BB16 presented a lower loss of chlorophyll with respect to the control plants, at concentrations of 150 and 200 mM of NaCl. The marked protective effect of BB16 in petunia plants exposed to saline stress, would allow attenuating the harmful effects minimizing the losses of productivity and quality that this stress causes in the crop.

Keywords: Brassinosteroids; *Petunia*; Salinity.

Introducción

La calidad y la conservación del agua están entre las principales preocupaciones ambientales de la actualidad; por lo tanto, repensar el manejo de

cultivos en invernadero y sus estrategias de riego resulta crucial (Todd y Reed, 1998). En muchos lugares, ante la falta de un suministro de agua de alta calidad, los productores se ven obligados a regar sus cultivos con aguas pesadas, con un importante

Recibido: 22/05/2022; Aceptado: 24/06/22.

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

contenido salino (Lieth y Burger, 1989), siendo la salinidad uno de los factores ambientales más determinantes a la hora de limitar la productividad de los cultivos (Zörb *et al.*, 2019). Además, Argentina es el tercer país con mayor superficie de suelos afectados por salinidad en el mundo, después de Rusia y Australia (Lavado, 2008), por lo que la necesidad de desarrollar sistemas innovadores y eficientes de gestión del agua para uso agrícola es esencial para el desarrollo sostenible (Skaggs *et al.*, 2006). La acumulación de sales provoca estrés osmótico, toxicidad iónica, déficit de agua y desequilibrio en los niveles de nutrientes (Zörb *et al.*, 2019). El efecto perjudicial relacionado con el estrés, no se puede asignar a un solo proceso fisiológico; sino a la disminución de la actividad fotosintética, el cierre de estomas, la reducción del potencial hídrico, deficiencias en la absorción de nutrientes, la inhibición del crecimiento, y cambios enzimáticos y de señalización genética son responsables de los efectos perjudiciales ocasionados (Escalante *et al.*, 2015).

La tolerancia a la salinidad se define como la capacidad que tiene el cultivo para soportar dicho estrés sin experimentar efectos perjudiciales en su desarrollo y/o producción (Zhu *et al.*, 2002). Las plantas presentan algunas estrategias para tolerar la salinidad (Munns y Tester, 2008) pero hasta cierto umbral, a partir del cual se ven afectadas, reduciéndose significativamente su productividad. Como resultado del creciente uso de agua de riego con elevada concentración salina, es imperativo para la industria de la floricultura, poder determinar y tratar de incrementar la tolerancia salina de diversas especies que son muy sensibles a la misma, tratando de minimizar el potencial daño que el estrés les ocasiona.

Las estrategias que están disponibles actualmente para mitigar el estrés salino que afecta fuertemente los rendimientos de las plantas son escasas (Battacharyya *et al.*, 2015). Algunos ejemplos son la adición externa de algunos reguladores del crecimiento de las plantas, osmoprotectores y óxido nítrico (Arun *et al.*, 2016; Selem, 2019). La tolerancia también puede ser inducida por la aplicación de fitohormonas (o análogos de estas) que activan respuestas de resistencia como el ácido salicílico (SA), el ácido jasmónico (JA), el etileno (ET) (Pieterse *et al.*, 2012) y más recientemente brasinoesteroides (BRs) (Li *et al.*, 2021).

Los Brasinoesteroides (BRs) son compuestos de naturaleza esteroidea esenciales para el

crecimiento y desarrollo de las plantas. Fueron descubiertos en la década del 70, cuando Mitchell *et al.* (1970) observaron una marcada actividad estimulante del crecimiento vegetal de un extracto lipídico obtenido a partir de granos de polen de *Brassica napus*. Años más tarde, a partir de dichos granos, se logró purificar un compuesto denominado “brasinólida” y los demás compuestos estructuralmente relacionados que se fueron descubriendo se denominaron brasinoesteroides, siendo los más abundantes la brasinólida y la castasterona (Bajguz y Tretny, 2003).

Los BRs generan un interés práctico en la agricultura por sus efectos como estimuladores del crecimiento, lo que hizo posible que se introdujeran algunos análogos de los BRs, obtenidos por vía sintética y que a su vez resultaban más económicos y presentaban efectos más prolongados (Khripach *et al.*, 2000; Mazorra y Núñez, 2008).

Aunque la tolerancia a salinidad, ha sido estudiada en múltiples especies, en plantas ornamentales no se ha prestado la misma atención. *Petunia* (*Petunia hybrida*) pertenece a la familia de las Solanáceas y es originaria de América del Sur. Es una planta herbácea que se cultiva como anual. Los híbridos comerciales presentan una amplia gama de formas y colores, por lo que es uno de los plantines de estación más cultivado en todo el mundo (Toffoli *et al.*, 2021). Esta planta ornamental es muy popular y económicamente importante, sin embargo, los esfuerzos por estudiar e intentar mejorar la tolerancia a la salinidad de esta especie no fueron suficientes (Arun *et al.*, 2016). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del tratamiento con un brasinoesteroide obtenido por síntesis química, denominado BB16, sobre el crecimiento de plantas de petunia en invernadero sometidas a condiciones de estrés salino, mediante la evaluación de parámetros morfológicos y fisiológicos asociados con la tolerancia al estrés.

Materiales y métodos

Material vegetal

Plantines de *Petunia x hybrida* var. Limbo Red provenientes de vivero comercial, fueron implantados en sustrato esterilizado (humus y perlita, 2:1), y mantenidas durante 14 semanas en contenedores de 800 cc capacidad bajo condiciones semi controladas de invernadero. Las plantas se

regaron cada 3 días con 80 ml de agua destilada. Durante este tiempo no se realizó la aplicación de fertilizantes ni fungicidas.

Tratamiento con BRs

Las plantas se pulverizaron con BB16 a una concentración de 0,1 mg.l⁻¹ hasta punto de goteo (1,5 ml por planta) 3 días antes de ser sometidas a estrés salino. Posteriormente, las plantas se mantuvieron en las condiciones mencionadas anteriormente. Después de 45 días, las plantas se evaluaron como se describe a continuación.

Estrés salino

Las plantas se regaron con 80 ml de NaCl 50, 100, 150 y 200 mM cada 3 días. Los controles fueron: plantas no tratadas con BB16 y sometidas a riego con 80 ml de agua destilada por planta (control) y plantas no tratadas con BB16 y sometidas a riego con 80 ml de NaCl a distintas concentraciones (50, 100, 150 y 200 mM).

Parámetros analizados en raíz

Después de 45 días bajo condiciones de estrés, las plantas se retiraron de las macetas y el sustrato se eliminó de las raíces lavándolas cuidadosamente con agua corriente.

Se midió la longitud de las raíces (cm) y los diámetros de corona (cm) con un calibre digital Wembley-5940, La superficie radicular se determinó mediante el método del nitrato de calcio (Carley y Watson, 1966). Las raíces se lavaron suavemente con agua, se escurrieron durante 30 segundos sobre papel absorbente y se pesaron. Luego se sumergieron durante 10 segundos en un vaso de precipitados que contenía la solución saturada de Ca(NO₃)₂, se escurrieron sobre el mismo recipiente durante 30 segundos y se pesaron. La diferencia de peso es equivalente al área de la raíz. Finalmente, se determinó el peso seco de las raíces (g) después de secarlas en un horno a 60 °C hasta peso constante. Las mediciones se realizaron en 20 repeticiones y los experimentos se llevaron a cabo por triplicado.

Parámetros estudiados en la parte aérea

Para estudiar el efecto de BB16 en la parte aérea de las plantas expuestas a estrés salino se analizó el peso seco de la parte aérea, el índice de

verdor, el número de flores, el diámetro floral y los días hasta la floración. El índice de verdor se midió utilizando un medidor de clorofila Minolta SPAD-502 (Güler *et al.*, 2006). Estos datos se expresaron como valores SPAD (valor numérico proporcional a la cantidad de clorofila en la hoja). Las mediciones se realizaron en 20 repeticiones y el experimento se llevó a cabo tres veces.

Análisis estadístico

Se utilizó el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2013) para realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos. Estos datos se obtuvieron de tres experimentos independientes y se expresaron como media ± error estándar. Se realizó la prueba de análisis de varianza unidireccional (ANOVA) y las medias se separaron mediante la prueba de Tukey para $p < 0,05$. Por su parte, para el análisis inferencial de la cantidad de flores en función de los tratamientos se utilizó un modelo lineal generalizado con el programa R a través de InfoStat (GLMM). El número de flores fue la variable respuesta. Se utilizó la familia Binomial negativa y la función de enlace logit. El ajuste del modelo se evaluó mediante la razón entre Deviance y gl residuales. La prueba de comparación de medias se realizó mediante la prueba DGC (5 %) (Di Rienzo *et al.*, 2002).

Resultados

Después de tratar las plantas de petunia con BB16 y someterlas a estrés salino, mediante riego con solución de NaCl a distintas concentraciones, se evaluó el estado fisiológico de las plantas y se comparó con las plantas control sin tratamiento con BB16 y sometidas a estrés. Se pudo observar un claro efecto protector de BB16 en las plantas expuestas a un riego con mayor concentración de NaCl (150 y 200 mM) ya que las plantas no tratadas con BB16 fueron severamente afectadas por el estrés. Las plantas previamente tratadas, mostraron leves efectos adversos, exhibiendo un estado fisiológico mucho más saludable (Figura 1).

Luego se procedió a evaluar la biomasa de las plantas de petunia, determinando el peso seco, tanto de la parte aérea como de la zona radicular. Se detectó un aumento significativo en el peso seco aéreo en las plantas tratadas con BB16 y no sometidas a estrés, con respecto a las plantas

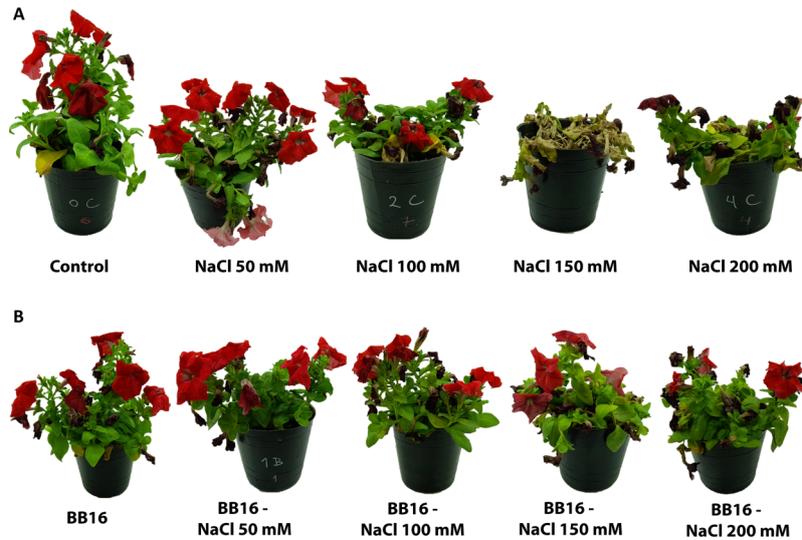


Figura 1. Plantas de petunia sometidas a estrés salino. Plantas control, no tratadas con BB16 (A), plantas tratadas con BB16 (B).

control, regadas con agua destilada. A su vez, se pudo comprobar un mayor peso seco de la parte aérea en las petunias tratadas con BB16 y sometidas a riego con una solución de NaCl 150 mM, con respecto a las plantas control sin tratamiento con BB16 y sometidas a las mismas condiciones de estrés (Figura 2A). El tratamiento con BB16, también dio lugar a un mayor peso seco radicular de las plantas sometidas a riego con NaCl 50 y 200 mM, con respecto a sus respectivos controles (Figura 2B).

Al analizar la longitud y la superficie radicular, se pudo comprobar que el tratamiento con BB16 dio lugar a plantas con mayor longitud radicular en todas las condiciones evaluadas (Figura 3A), mientras que la superficie radicular se vio incrementada, solamente en las plantas de petunia tratadas con BB16 y sometidas a riego con NaCl 200 mM (Figura 3B).

Las plantas tratadas con BB16 mostraron, además, una menor disminución del contenido relativo de clorofila en comparación con las plantas control no tratadas, a los 15 días post-tratamiento al ser sometidas a riego con NaCl 50 mM (Figura 4B), a los 45 días al ser sometidas a riego con NaCl 150 mM (Figura 4D), y a los 30 y 45 días post-tratamiento cuando fueron sometidas a riego con NaCl 200 mM (Figura 4E).

Para evaluar el efecto del tratamiento con BB16 en la parte aérea de la planta, se estudió el número y diámetro de las flores y los días hasta floración. El tratamiento con este BR permitió obtener plantas con mayor número de flores en la condición de estrés correspondiente a un riego con NaCl 50

mM (Figura 5A) y flores de mayor diámetro bajo todas las condiciones estudiadas (Figura 5B). Finalmente, se pudo apreciar que el tratamiento con esta fitohormona logró que se reduzcan los días hasta floración en plantas sometidas a riego con NaCl 100 y 200 mM (Figura 5C).

Discusión

El cultivo comercial de petunia se realiza en sistemas intensivos, en los que a menudo se riega periódicamente y en muchos casos con agua de mala calidad, lo que, sumado a las aplicaciones excesivas de fertilizantes, provoca un aumento en la conductividad eléctrica y lleva a una disminución de los rendimientos y calidad de las plantas. Por lo tanto, se hace necesario la búsqueda de estrategias sustentables para lograr una mayor tolerancia a la salinidad, que permita un cultivo intensivo de estas plantas, de una manera ambientalmente segura.

Es por ello, que en este trabajo nos enfocamos en estudiar el efecto de la salinidad en plantas de petunia previamente tratadas con brasinoesteroides. Anteriormente, varios trabajos demostraron y confirmaron que la aplicación de hormonas u otros compuestos químicos en plantas aumenta su tolerancia al estrés salino (Shahid *et al.*, 2014). Entre estos compuestos, los BRs se utilizaron para conferir resistencia contra diversos estreses, entre ellos, la salinidad (Fariduddin *et al.*, 2014).

Se estima que el estrés abiótico reduce el rendimiento de un cultivo a menos del 50% (Battacharyya *et al.*, 2015). En condiciones sin

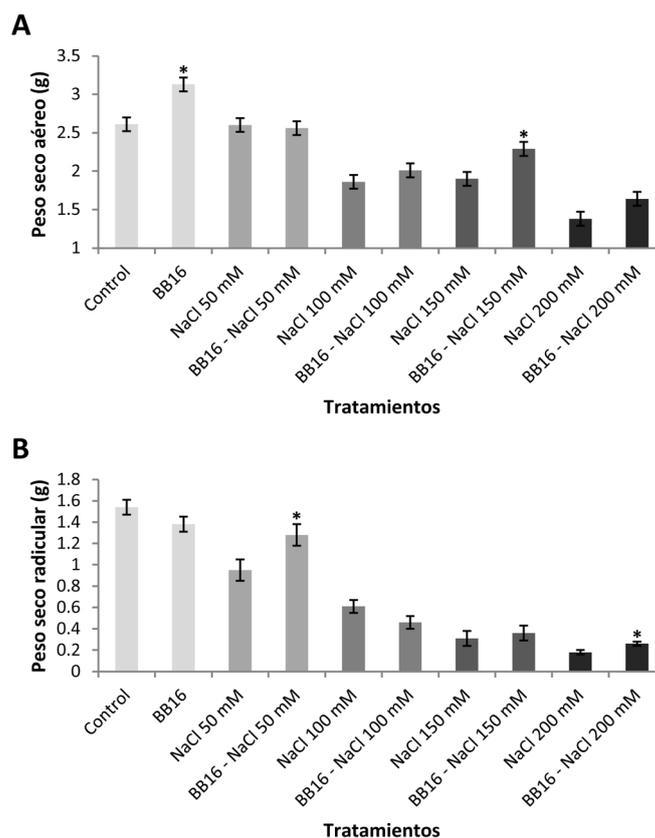


Figura 2. Pesos secos de las plantas de petunia tratadas, y no tratadas, con BB16, sometidas a riego con concentraciones crecientes de NaCl. Peso seco de la parte aérea (A) y peso seco radicular (B). Los valores medios \pm ES se obtuvieron de tres experimentos independientes ($n = 10$). El análisis de varianza (ANOVA) seguido de una prueba de Tukey se realizó con el software InfoStat/L ($p < 0,05$). Los asteriscos indican una diferencia estadísticamente significativa.

estrés, las plantas emplean la mayor parte de su energía en los procesos necesarios para su mantenimiento y crecimiento. Sin embargo, la asignación de recursos se ve claramente modificada con el aumento de los niveles de salinidad, ya que se invierten más recursos para mitigar el estrés (Zörb *et al.*, 2019).

Las plantas de petunia, frente a condiciones de estrés salino se ven sensiblemente afectadas, presentando efectos negativos en características morfológicas como la longitud de los brotes y las raíces, dando lugar a plantas más bajas y con raíces más cortas (Krupa-Mańkiewicz y Fornal, 2018). Los resultados obtenidos en este trabajo son consistentes también, con los observados por Jones (1986) y Krupa-Mańkiewicz *et al.* (2016), quienes encontraron que una concentración salina superior a 100 mM tiene un efecto inhibitorio sobre la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas. En el presente estudio, las características morfofisiológicas de las plantas de petunias bajo estrés salino, mejoraron significativamente con el tratamiento con BB16. Y se pudo apreciar también, en consistencia con estos trabajos previos, que la

salinidad afecta con mayor gravedad a las plantas de petunia, en concentraciones de NaCl elevadas, como ser 150 o 200 mM (Figura 1A).

Varios autores (Manchanda y Garg, 2008; Khalid *et al.*, 2015; Piwowarczyk *et al.*, 2016), sostienen que, para determinar la influencia del estrés salino en el crecimiento de las plantas, además de medir la longitud radicular (Figura 3), se debe medir su peso. El bajo coeficiente de crecimiento puede sugerir la ocurrencia de procesos adaptativos para condiciones de estrés dentro de la planta. A partir de los resultados de nuestro estudio, se determinó que el tratamiento con BB16 daba lugar a plantas de petunia que mostraban una menor disminución de su biomasa, tanto aérea como radicular, en respuesta a concentraciones crecientes de NaCl (Figura 2), mostrando diferencias significativas en condiciones de riego con NaCl 150 mM en la parte aérea, y con NaCl 50 y 200 mM en peso seco radicular.

La reducción del crecimiento de la planta y una marcada reducción de los valores de SPAD se observan en plantas bajo estrés osmótico (Naing *et al.*, 2022). La disminución en el contenido

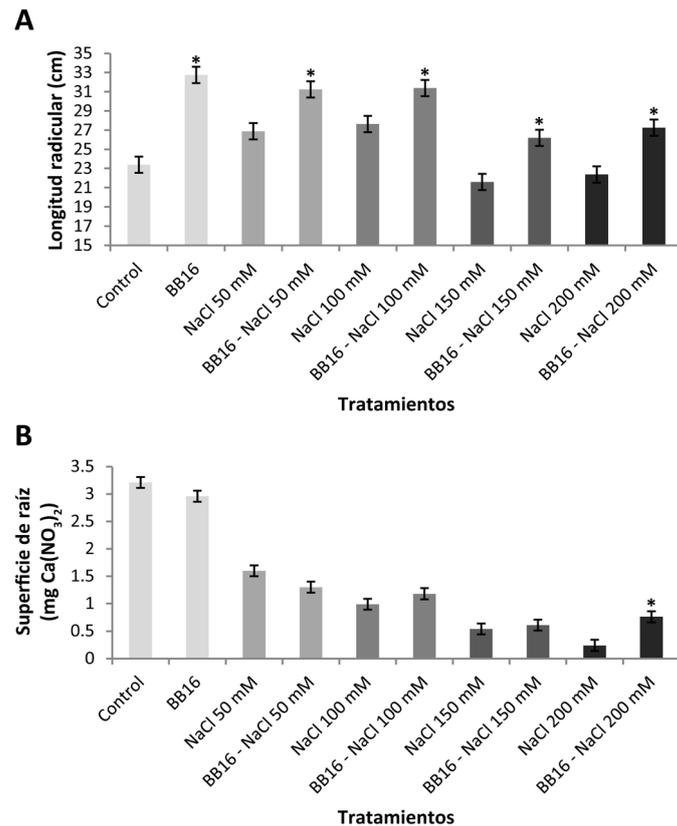


Figura 3. Longitud radicular y superficie de raíz de las plantas de petunia tratadas, y no tratadas, con BB16, sometidas a estrés salino. Longitud radicular (A) y Superficie radicular (B). Los valores medios \pm ES se obtuvieron de tres experimentos independientes ($n = 10$). El análisis de varianza (ANOVA) seguido de una prueba de Tukey se realizó con el software InfoStat/L ($p < 0,05$). Los asteriscos indican una diferencia estadísticamente significativa.

relativo de clorofila o valor SPAD es uno de los principales efectos que provoca el estrés osmótico, ocasionado por salinidad o sequía en plantas de petunia. Tal reducción en el crecimiento de las plantas y la interrupción del proceso fisiológico por estrés abiótico se ha observado en varios trabajos en petunia (Naing *et al.*, 2021; Arun *et al.*, 2016; Ai *et al.*, 2018). Las plantas sometidas a estrés osmótico cierran sus estomas para evitar la pérdida de agua, situación que provoca un aumento de radicales libres induciendo a su vez la degradación de lípidos, proteínas y componentes celulares como la clorofila (Makale *et al.*, 1999). Cuando ocurre esto último, las hojas de las plantas se vuelven amarillas (Wise y Naylor, 1987), como se observó en las plantas de petunia sometidas a estrés salino a concentraciones de 150 y 200 mM, en las cuales se produce una marcada disminución del índice de verdor. Sin embargo, las plantas tratadas previamente con BB16, no muestran tal reducción y presentan diferencias significativas con las plantas control, no tratadas a partir del día 30 post-tratamiento. (Figura 4E), presentando hojas más verdes (Figura 1).

En el trabajo llevado a cabo por Bayona-Morcillo (2020), plantas de petunia mostraron una tolerancia moderada al agua de riego salina con una conductividad de 2 dS m^{-1} , sin embargo, se observó una respuesta negativa cuando el nivel de salinidad se elevó a 3 dS m^{-1} . La tolerancia a la salinidad se suele definir como la capacidad de una planta para resistir los efectos de una salinidad elevada o creciente, sin efectos adversos significativos, como la reducción del crecimiento y el rendimiento o el daño foliar. Nuestros resultados están en línea con los de Niu y Sun (2019), que mostraron que cuando las plantas están sujetas a altos niveles de salinidad, todas las partes de la misma, incluidas las hojas, los tallos, las raíces y las flores, pueden reducir su tamaño. En nuestro caso, al analizar parámetros florales, pudimos observar que la salinidad provoca una reducción en el número y diámetro de flores, mientras que el tratamiento con BB16 permitió contrarrestar este efecto, dando lugar a petunias con mayor número y diámetro de flores ante las condiciones adversas del estrés salino (Figura 5). Por su parte, pudimos observar que, a la mayor concentración salina

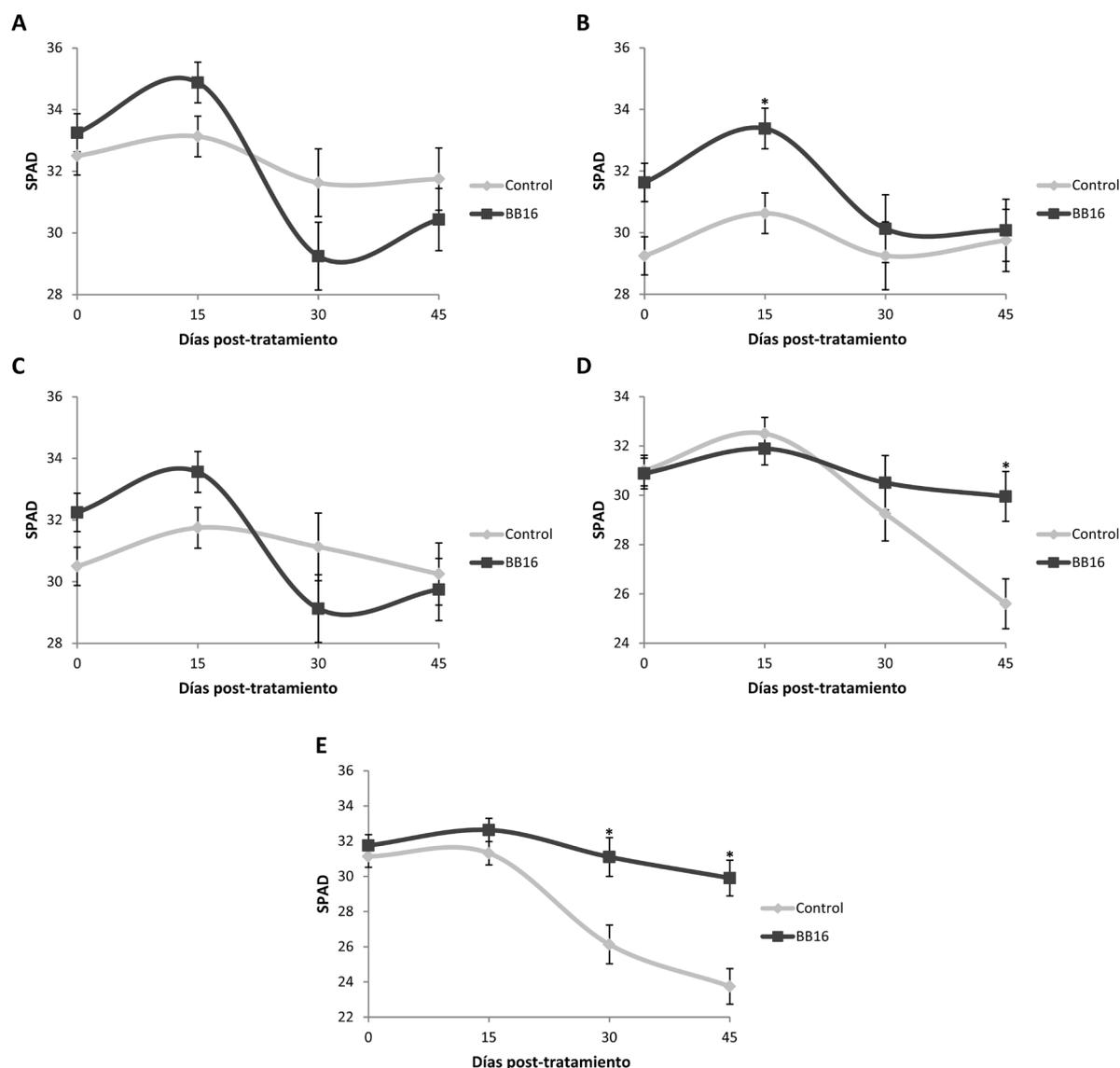


Figura 4. Cambios en el índice de verdor, durante los 45 días de riego con NaCl, de las plantas de petunia, tratadas y no tratadas con BB16. Podemos observar la variación de SPAD de las plantas expuestas a: riego con agua destilada (A), riego con NaCl 50 mM (B), riego con NaCl 100 mM (C), riego con NaCl 150 mM (D), y riego con NaCl 200 mM (E). Los valores medios \pm ES se obtuvieron de tres experimentos independientes ($n = 10$). El análisis de varianza (ANOVA) seguido de una prueba de Tukey se realizó con el software InfoStat/L ($p < 0,05$). Los asteriscos indican una diferencia estadísticamente significativa.

evaluada, se produce además una reducción en el tiempo de floración en respuesta al tratamiento con el brasinoesteroide.

Conclusiones

El objetivo planteado en este trabajo era estudiar el efecto del brasinoesteroide BB16, sobre el crecimiento y desarrollo floral de *Petunia x hybrida* var. Limbo Red bajo condiciones de salinidad creciente. Se logró demostrar que las plantas tratadas con BB16 a una concentración de $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ evidenciaron mejoras en todas las variables morfosiológicas evaluadas. Las mismas

mostraron una mayor longitud radicular y flores de mayor tamaño en todas las concentraciones salinas evaluadas con respecto a plantas control, no tratadas. Se pudo apreciar, además, un mayor número de flores a 50 y 200 mM de NaCl, y una reducción en el tiempo de floración en condiciones de riego con NaCl 200 mM. A esta concentración, además, se pudo observar como las plantas de petunia tenían una menor pérdida de clorofila con respecto a plantas control, no tratadas con BB16.

En conclusión, se pudo comprobar un marcado efecto protector de BB16 en plantas de petunia, expuestas a estrés salino. La capacidad de los brasinoesteroides para inducir tolerancia contra

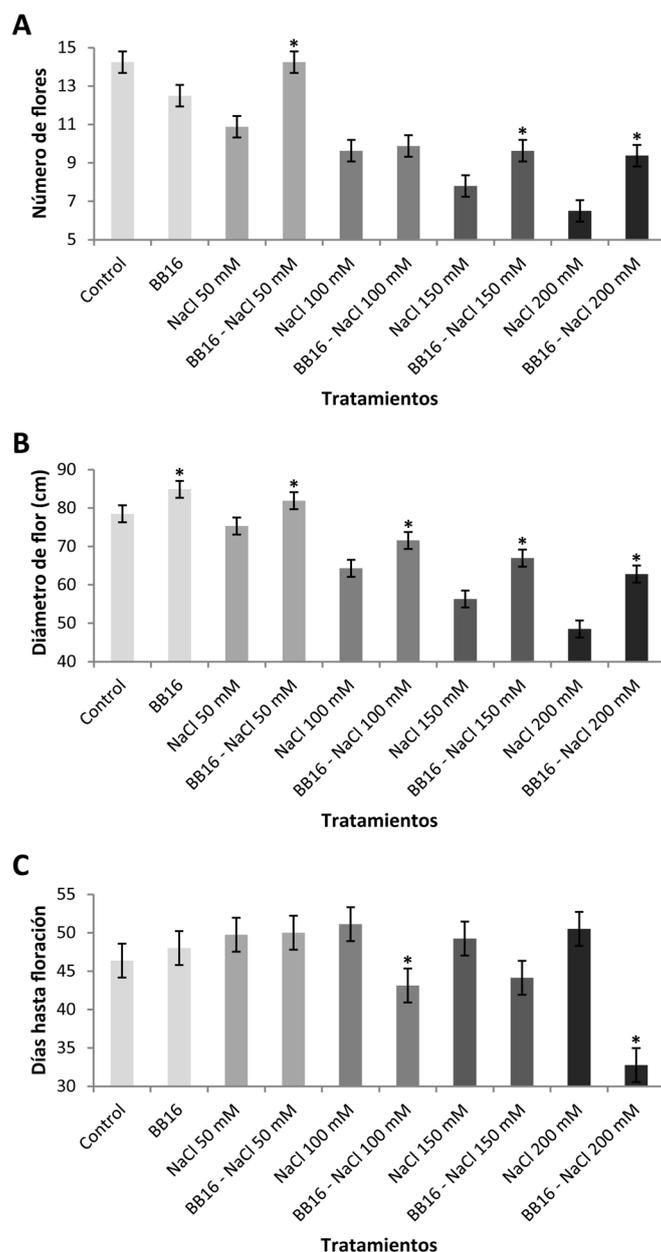


Figura 5. Parámetros florales evaluados en las plantas de petunia tratadas, y no tratadas, con BB16, sometidas a estrés salino. Número de flores (A), diámetro de flor (B), y días hasta la floración (C). Los valores medios \pm ES se obtuvieron de tres experimentos independientes ($n = 10$). Para estudiar el diámetro de flor y los días hasta floración se realizó el análisis de varianza (ANOVA) seguido de una prueba de Tukey se realizó con el software InfoStat/L ($p < 0,05$). Por su parte, para el análisis inferencial de la cantidad de flores se utilizó un modelo lineal generalizado y el ensayo de comparación de medias se realizó mediante la prueba DGC (5 %). Los asteriscos indican una diferencia estadísticamente significativa.

el estrés permite considerar la posibilidad de emplearlos como una alternativa para el manejo del cultivo, que resulte segura para el medio ambiente y que permita atenuar los efectos perjudiciales ocasionados por la salinidad, minimizando las pérdidas de productividad y calidad que ocasiona.

Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por subsidios otorgados por la Universidad Nacional de Tucumán (PIUNT 26 / D621), e INTA (2019-PD-E4-I069-001 y 2019-PE-E1-I009-001).

Referencias bibliográficas

- Ai T.N., Naing A.H., Yun B.W., Lim S.H., Kim C.K. (2018). Overexpression of RsMYB1 enhances anthocyanin accumulation and heavy metal stress tolerance in transgenic petunia. *Frontiers in Plant Science* 1388. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01388>
- Arun M., Radhakrishnan R., Ai T.N., Naing A.H., Lee I.J., Kim C.K. (2016). Nitrogenous compounds enhance the growth of petunia and reprogram biochemical changes against the adverse effect of salinity. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 91 (6): 562-572. <https://doi.org/10.1080/14620316.2016.1192961>
- Bajguz A., Tretyn A. (2003). The chemical characteristic and distribution of brassinosteroids in plants. *Phytochemistry* 62 (7): 1027-1046. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00656-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00656-8)
- Battacharyya D., Babgohari M.Z., Rathor P., Prithiviraj B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196: 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012>
- Bayona-Morcillo P.J., Plaza B.M., Gómez-Serrano C., Rojas E., Jiménez-Becker S. (2020). Effect of the foliar application of cyanobacterial hydrolysate (*Arthrospira platensis*) on the growth of *Petunia x hybrida* under salinity conditions. *Journal of Applied Phycology* 32 (6): 4003-4011. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02192-3>
- Carley H.E., Watson T.W. (1966). A new gravimetric method for estimating root-surface areas. *Soil Science* 102: 289-291
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2013). InfoStat version 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Di Rienzo J.A., Guzmán A.W., Casanoves F. (2002). A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. *Journal of agricultural, biological, and environmental statistics* 7 (2), 129-142. <https://doi.org/10.1198/10857110260141193>
- Escalante F.M., Cortés-Jiménez D., Tapia-Reyes G., Suárez R. (2015). Immobilized microalgae and bacteria improve salt tolerance of tomato seedlings grown hydroponically. *Journal of Applied Phycology* 27 (5): 1923-1933. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0651-0>
- Fariduddin Q., Yusuf M., Ahmad I., Ahmad A. (2014). Brassinosteroids and their role in response of plants to abiotic stresses. *Biologia Plantarum* 58: 9-17. <https://doi.org/10.1007/s10535-013-0374-5>
- Güler S., Macit I., Koc A., Ibrikci H. (2006). Estimating leaf nitrogen status of strawberry by using chlorophyll meter reading. *Journal of Biological Sciences* 6 (6): 1011-1016.
- Jones R.A. (1986). High salt tolerance potential in *Lycopersicon* species during germination. *Euphytica* 35: 575-582. <https://doi.org/10.1007/BF00021866>
- Khalid H., Kumari M., Grover A., Nasim M. (2015). Salinity Stress Tolerance Of Camelina Investigated. *Scientia agriculturae bohemica* 46 (4): 137-144. <https://doi.org/10.1515/sab-2015-0028>
- Khripach V., Zhabinskii V., de Groot A. (2000). Twenty years of brassinosteroids: steroidal plant hormones warrant better crops for the XXI century. *Annals of Botany* 86 (3): 441-447. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1227>
- Krupa-Mańkiewicz M., Fornal N. (2018). Application of chitosan in vitro to minimize the adverse effects of salinity in *Petunia x atkinsiana* D. don. *Journal of Ecological Engineering* 19 (1): 143-149. <https://doi.org/10.12911/22998993/79410>
- Krupa-Mańkiewicz M., Ostojski D., Sędzik M., Pelc J., Smolik B. (2016). Interactive effects of salinity stress with or without nicotinamide on physiological and biochemical parameters of tomato seedling. *Foila Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis. Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica* 326 (38) 2: 71-80.
- Lavado R. (2008). Visión sintética de la distribución y magnitud de los suelos afectados por salinidad en la Argentina. La salinización de suelos en la Argentina: su impacto en la producción agropecuaria. EDUCC (Editorial Universidad Católica de Córdoba), Córdoba, 11-16.
- Li S., Zheng H., Lin L., Wang F., Sui N. (2021). Roles of brassinosteroids in plant growth and abiotic stress response. *Plant Growth Regulation* 93 (1): 29-38. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00672-7>
- Lieth J.H., Burger D.W. (1989). Growth of chrysanthemum using an irrigation system controlled by soil moisture tension. *Journal of the American Society for Horticultural Science (EEUU)*.
- Makale P., Kontturi M., Pehu E., Somersalo S. (1999). Photosynthetic response of drought and salt-stressed tomato and turnip rape plants to foliar applied glycinebetaine. *Physiologia Plantarum* 105: 45-50. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1999.105108.x>
- Manchanda G., Garg N. (2008). Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta Physiologiae Plantarum* 30 (5): 595-618. <https://doi.org/10.1007/s11738-008-0173-3>
- Mitchell J.W., Mandava N., Worley J.F., Plimmer J.R., Smith M.V. (1970). Brassins—a new family of plant hormones from rape pollen. *Nature*, 225 (5237): 1065-1066. <https://doi.org/10.1038/2251065a0>
- Munns R., Tester M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
- Naing A.H., Campol J.R., Kang H., Xu J., Chung M.Y., Kim C.K. (2022). Role of Ethylene Biosynthesis

- Genes in the Regulation of Salt Stress and Drought Stress Tolerance in Petunia. *Frontiers in plant science* 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.844449>
- Naing A.H., Jeong H.Y., Jung S.K., Kim C.K. (2021). Overexpression of 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylic Acid Deaminase (acdS) Gene in *Petunia hybrida* Improves Tolerance to Abiotic Stresses. *Frontiers in Plant Science* 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.737490>
- Niu G., Sun Y. (2019). Salt tolerance in roses - a review. *Acta Horticulturae* 1232: 143-150. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1232.22>
- Pieterse C.M., Van der Does D., Zamioudis C., Leon-Reyes A., Van Wees S.C. (2012). Hormonal modulation of plant immunity. *Annual Review of Cell and Developmental Biology* 28: 489-521. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-092910-154055>
- Piowarczyk B., Tokarz K., Kamińska I. (2016). Responses of grass pea seedlings to salinity stress in in vitro culture conditions. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 124 (2): 227-240. <https://doi.org/10.1007/s11240-015-0887-z>
- Selem E. (2019). Physiological effects of *Spirulina platensis* in salt stressed *Vicia faba* L. plants. *Egyptian Journal of Botany* 59 (1): 185-194. <https://doi.org/10.21608/EJBO.2018.3836.1178>
- Shahid M.A., Balal R.M., Pervez M.A., Garcia-Sanchez F., Gimeno V., Abbas T., Mattson N.S., Riaz A. (2014). Treatment with 24-epibrassinolide mitigates NaCl-induced toxicity by enhancing carbohydrate metabolism, osmolyte accumulation, and antioxidant activity in *Pisum sativum*. *Turkish Journal of Botany* 38: 511-525.
- Skaggs T.H., Poss J.A., Shouse P.J., Grieve C.M. (2006). Irrigating forage crops with saline waters: 1. Volumetric lysimeter studies. *Vadose Zone Journal* 5 (3): 815-823. <https://doi.org/10.2136/vzj2005.0119>
- Todd N.M., Reed D.W. (1998). Characterizing salinity limits of New Guinea impatiens in recirculating subirrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 123 (1): 156-160. <https://doi.org/10.21273/JASHS.123.1.156>
- Toffoli L.M., Martínez-Zamora M.G., Medrano N.N., Fontana C.A., Lovaisa N.C., Delaporte-Quintana P., Elias J.M., Salazar S.M., Pedraza R.O. (2021). Natural occurrence of *Azospirillum brasilense* in petunia with capacity to improve plant growth and flowering. *Journal of Basic Microbiology* 61 (7): 662-673. <https://doi.org/10.1002/jobm.202100064>
- Wise R.R., Naylor A.W. (1987). Chilling-enhanced photooxidation: evidence for the role of singlet oxygen and Superoxide in the Breakdown of Pigments and endogenous antioxidant. *Plant Physiology* 83: 278-282. <https://doi.org/10.1104/pp.83.2.278>
- Zhu, J.-K. (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 53: 247-273. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329>
- Zörb C., Geilfus C.M., Dietz K.J. (2019). Salinity and crop yield. *Plant biology* 21: 31-38. <https://doi.org/10.1111/plb.12884>