Acta Agrícola y Pecuaria 11 (núm. esp. 2): e0111036. | e-ISSN: 2395-874X.
https://doi.org/10.30973/aap/2025.11.0111036 (3 de marzo de 2026)

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Quitosano y pectina de cítricos como potenciales bioestimulantes en *Billbergia pallidiflora* Liebm. (Bromeliaceae)

Chitosan and citrus pectin as potential biostimulants in *Billgergia pallidiflora* Liebm. (Bromeliaceae)

Ma. de Jesús Juárez-Hernández[1], Edna F. Valdez-Hernández[1]*, Ivette A. Gálvez-Pérez[1], Román Sánchez-Carrillo[1]

[1] Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, km 38.5 Carretera México-Texcoco, 56230, Chapingo, Estado de México, México.

*Autor para correspondencia: ednafvh5@hotmail.com

Fecha de recepción:
27 de junio de 2025

Fecha de aceptación:
1 de septiembre de 2025

Disponible en línea:
3 de marzo de 2026

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.

Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

Cómo citar:
Juárez-Hernández, M. de J., Valdez-Hernández, E. F., Gálvez-Pérez, I. A., & Sánchez-Carrillo, R. (2025). Quitosano y pectina de cítricos como potenciales bioestimulantes en *Billbergia pallidiflora* Liebm. (Bromeliaceae). *Acta Agrícola y Pecuaria, 11*(núm. esp. 2), e0111036. https://doi.org/10.30973/aap/2025.11.e0111036

RESUMEN

Billbergia pallidiflora Liebm. es una bromelia con potencial ornamental, amenazada por la extracción ilegal. En el presente trabajo se evaluaron dos bioestimulantes de origen natural: el quitosano y la pectina de cítricos, para mejorar la supervivencia y acelerar el desarrollo de vitroplantas, durante la fase de aclimatación. Se establecieron dos bioensayos que incluyeron tratamientos con ambos bioestimulantes y sus respectivos controles. El primero (B1) —con aplicación foliar donde: T1 (10 mg L^{-1} de quitosano + 2 ml.L del fertilizante Nutriplant®), T2 (10 mg L^{-1} de pectina de cítrico + 2 ml L^{-1} de Nutriplant®) y el T3 (2 ml de Nutriplant®)— no mostró diferencias significativas. El segundo (B2) —con aplicación al riego, mismos tratamientos y la combinación de quitosano y pectina— reveló diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en al menos un tratamiento en las variables número de hojas, unidades SPAD, peso total, peso foliar, volumen radical, nitratos en salvia y área foliar. Los resultados sugieren que ambos bioestimulantes aplicados vía riego optimizan el crecimiento durante la aclimatación y favorecen la producción comercial sostenible de *B. pallidiflora*, contribuyendo a su conservación y comercialización legal.

PALABRAS CLAVE

Bromelia, conservación, polímero natural, ornamentales.

ABSTRACT

Billbergia pallidiflora Liebm. is a bromeliad with ornamental potential that is threatened by illegal extraction. In this study, two natural-origin biostimulants—quitosano and citrus pectin—were evaluated to improve survival and accelerate the development of vitro plants during the acclimatization phase. Two bioassays were established, including treatments with both biostimulants and their respective controls. The first bioassay (B1), involving foliar application—where T1 (10 mg L^{-1} chitosan + 2 ml L^{-1} of the fertilizer Nutriplant®), T2 (10 mg L^{-1} citrus pectin + 2 ml L^{-1} Nutriplant®) and T3 (2 ml Nutriplant®)—showed no significant differences among treatments. The second bioassay (B2)—with application via irrigation using the same treatments and a combination of chitosan and pectin—revealed statistically significant differences ($p < 0.05$) in at least one treatment for the following variables: number of leaves, SPAD units, total biomass, leaf biomass, root volume, nitrate content in sap, and leaf area. These results suggest that both biostimulants, when applied via irrigation, optimize plant growth during acclimatization and promote the sustainable commercial production of *B. pallidiflora*, contributing to its conservation and legal commercialization.

KEYWORDS

Bromeliad, conservation, genetic improvement, ornamentals.

Introducción

La familia Bromeliaceae en México comprende 422 especies, de las cuales el 75.3 % son endémicas (Espejo-Serna et al., 2018). *Billbergia pallidiflora* Liebm. es una especie presente en el país que crece como planta epífita, aunque rara vez puede ser terrestre o rupícola. Presenta hojas en roseta tubular que alcanzan hasta 60 cm de altura, con bandas transversales blancas y espinas marginales deltoides. La inflorescencia es una espiga simple de 10-40 cm de largo, con 10-40 flores, brácteas rosadas y pétalos verdes. Estas características la hacen visualmente atractiva, con un marcado potencial ornamental (Baker, 1889; Salmerón-Flores et al., 2022).

Además, se ha reportado su uso con fines religiosos (Mondragón-Chaparro et al., 2005), siendo extraída del medio silvestre, ya que no existen reportes de su producción controlada. La deforestación y la fragmentación del hábitat representan amenazas para diversas especies de bromelias, por lo que la introducción de *B. pallidiflora* a protocolos de propagación resulta importante para su conservación y para promover su comercialización legal. Hasta el momento no existe información sobre su estatus de conservación, aunque se sabe que en los últimos años diversas bromelias se han incorporado al mercado ornamental debido a sus bajos requerimientos de mantenimiento, siendo comúnmente conocidas como *air plants* por su capacidad epífita que les permite sobrevivir sin necesidad de sustrato.

En los procesos de micropropagación, una etapa crítica es la aclimatación, ya que las plantas deben adaptarse a nuevos ambientes, lo que implica retos relacionados con las condiciones de suelo, luz, temperatura y humedad. En esta fase, el control de sustratos y nutrientes es fundamental para acelerar el desarrollo y asegurar la adaptación, además de un buen crecimiento vegetativo de las plántulas (Rodrigues et al., 2021). En este contexto, el uso de compuestos con potencial bioestimulante podría contribuir a reducir la pérdida de plantas y mejorar su calidad. En las últimas décadas, se han desarrollado productos capaces de incrementar el rendimiento y la calidad de los cultivos mediante la mejora en la absorción, asimilación y translocación de nutrientes, el uso eficiente del agua y la promoción de la tolerancia a factores ambientales (Masondo et al., 2022).

Entre estos productos, la pectina de cítricos y el quitosano podrían representar una estrategia prometedora para mejorar la aclimatación y reducir las pérdidas de plantas producidas *in vitro*, considerando que los oligosacáridos pueden ayudar a mitigar el estrés vegetal (He et al., 2021). Actualmente, existen diversos métodos para mejorar la producción de cultivos, destacando el uso de sustancias naturales capaces de estimular el crecimiento o las defensas de las plantas (Ferrari et al., 2013). En particular, se busca desarrollar bioestimulantes más sustentables; en este sentido, el aprovechamiento de subproductos para su elaboración allana el camino hacia el reciclaje y la reducción de residuos (Xu & Geelen, 2018).

El quitosano es uno de estos compuestos que ha demostrado ser una alternativa prometedora, es un polímero natural derivado del proceso de desacetilación de la quitina (Velasco Reyes et al., 2019), se encuentra en abundancia en exoesqueleto de crustáceos, insectos, artrópodos, así como en la pared celular de los hongos (Ahsan et al., 2018). Aunque la versión comercial de este polímero natural proviene principalmente de quitina marina obtenida de desechos de camarón, cangrejos y langostas (Hisham et al., 2024), su estructura química está formada por una cadena lineal que consiste en N-acetil-2-amino-2-desoxi-d-glucopiranosa (unidad acetilada) y 2-amino 2-desoxidado-glucopiranosa (unidad desacetilada), unidos por enlaces β-(1 4)-glucosídicos (Ahmed & Ikram, 2017). Por otro lado, también se está probando la eficiencia de la pectina de cítricos, un polisacárido natural presente en las paredes celulares de las plantas, pues su aplicación mejora el crecimiento, aumenta la resistencia al estrés abiótico y favorece la productividad en algunos cultivos (Pérez-Portuondo et al., 2024; Sáez-Cigarruista et al., 2024).

Tomando en cuenta estos aspectos, esta investigación tuvo como objetivo identificar si el uso de bioestimulantes como el quitosano y la pectina de cítricos en la aclimatación de *B. pallidiflora*, favorece la pérdida de especímenes y ayuda a mejorar la calidad de planta, ya que este punto es un filtro entre la producción de plantas mediante micropropagación y la incorporación al mercado como producto al público.

Materiales y métodos

Se llevaron a cabo dos bioensayos con plántulas de *B. pallidiflora* producidas *in vitro* a partir de microtallos, con la técnica de Marín-López et al. (2025). Las plántulas tenían un promedio de 6 cm de altura, seis hojas y las raíces fueron podadas a 1 cm para uniformizarlas (Figura 1). Fueron establecidas en macetas de 5 cm por lado, con un sustrato a base de partes iguales de tezontle, carbón de mezquite y corteza de pino, todo a un tamaño de partícula de 1 cm, aproximadamente; la maceta fue introducida en bolsa plástica con un popote para que la bolsa no oprimiera a la planta, y fueron mantenidas en el laboratorio con luz artificial y un fotoperiodo igual a las del cultivo. El proceso de aclimatación consistió en abrir la bolsa para aumentar el tiempo de exposición al ambiente, iniciando por una hora; después de 20 días, las plantas se retiraron definitivamente de la bolsa. Luego se llevaron a invernadero con sombra del 50 %. Para prevenir enfermedades por la poda de raíz, se aplicó 1 mg L^{-1} de fungicida Captan® 50 WP (Adama de México, Alcaldía Miguel Hidalgo, México), cada tres días. Una vez terminado este protocolo, se comenzaron las aplicaciones de los experimentos. Se utilizó un producto comercial grado alimenticio de quitosano (Encapsuladoras México S.A. de C.V. Chihuahua, México); para su dilución, se utilizó ácido clorhídrico 1N; una vez hidratado con el ácido, se agregó agua caliente y se continuó disolviendo para, después, llevar a punto de ebullición y asegurar la completa disolución. La pectina cítricos fue de la marca Sigma-aldrich® P9135 (Darmstadt, Alemania), y el fertilizante completo con macro y micronutrientes, Nutriplant® Sagal química (Nuevo León, México). Antes de la aplicación, se ajustó el pH a 5.6 ± 1.

Bioensayo 1 (B1): Se aplicaron los bioestimulantes vía foliar asperjado cada 10 días durante tres meses. T1 (10 mg L^{-1} de quitosano + 2 ml L^{-1} de Nutriplant® Sagal), T2 (10 mg L^{-1} de pectina de cítrico + 2 ml L^{-1} de Nutriplant®) y el T3 (2 ml de Nutriplant®). Adicionalmente se aplicó un riego de mantenimiento con aproximadamente 20 ml por maceta cada semana. El diseño fue completamente al azar. La unidad experimental consistió en seis macetas con una planta cada una y tres réplicas por tratamiento. Las variables evaluadas cada mes fueron: altura de planta y numero de hojas; después de los tres meses, se midió largo de raíz y peso de planta.

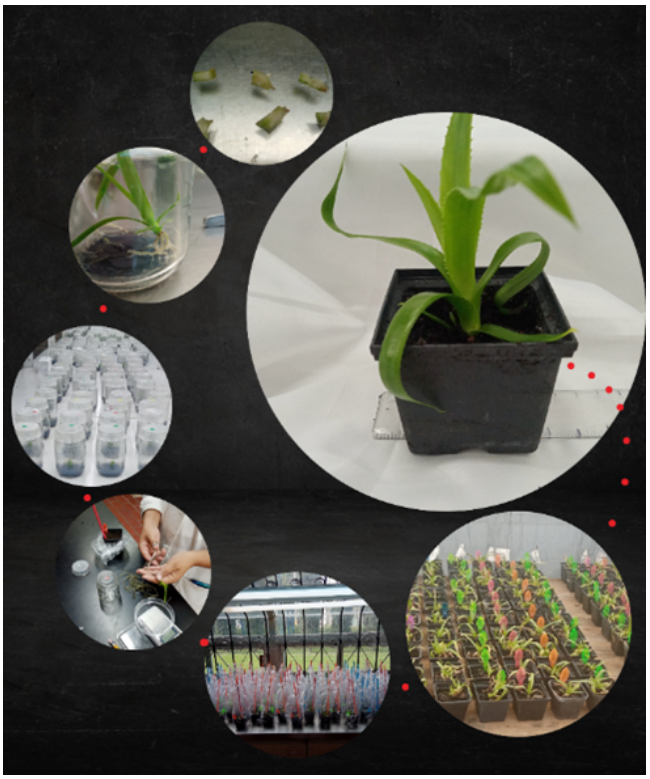

Figura 1. Proceso de producción de plántulas de *Billbergia pallidiflora,* iniciado con un microtallo de 5 mm hasta la obtención de plántula.

Bioensayo 2 (B2): Se utilizaron el mismo tipo de plantas y método que en el Bioensayo 1, con la diferencia de que los tratamientos fueron agregados al riego cada 10 días y durante cinco meses. Los tratamientos consistieron en: T1 (10 mg L^{-1} de quitosano + 2 ml L^{-1} de Nutriplant®), T2 (10 mg L^{-1} de pectina de cítricos + 2 ml L^{-1} de Nutriplant®), T3 (10 mg L^{-1} de quitosano + 10 mg L^{-1} de pectina de cítricos + 2 ml L^{-1} de Nutriplant®) y el T4 (2 ml de Nutriplant®); la unidad experimental y replicas fueron similares al Bioensayo 1.

De igual manera, las variables a evaluar cada mes fueron: altura de planta y el número de hojas; al finalizar el experimento, se midieron las unidades SPAD con el clorofilómetro portátil SPAD-502 (Konika-Minolta®, Osaka, Japón). De cada replica se tomaron tres plantas al azar para su disección y evaluar peso de planta, peso foliar, peso radicular con una báscula marca OHAUS, modelo Pa1502 (Paesippany, Estados Unidos), con precisión mínima de 0.01 g. El follaje y las raíces se metieron en bolsas de papel y se secaron a peso constante en una estufa THELCO, modelo 6M (Thermo Fisher Scientific, Whaltam, Estados Unidos) para, así, analizar

la acumulación y distribución de biomasa a través del cálculo de peso seco. Para determinar el área foliar se utilizó el *software* ImageJ® versión 1.54 (Rasband, 1997-2026). Cada hoja por planta se colocó sobre un fondo blanco y se tomaron fotografías con una cámara Cybershot DSC-TX30 (Sony®, Tokio, Japón). El área total fue registrada en cm2. Para calcular el volumen de raíz, se optó por el método de desplazamiento de agua. Para la concentración de nitratos y potasio, la savia colectada fue analizada mediante medidores portátiles de NO_3 y K^+, Cardy C-131 y C-141 (Horiba®, Kyoto, Japón), respectivamente, a fin de cuantificar el contenido de dichos iones.

Cada una de las variables evaluadas fueron analizadas mediante un ANOVA de una vía. Tras existir diferencias significativas, se aplicó una prueba de DMS con un $\alpha = 0.05$, utilizando el paquete estadístico SAS®, versión 9.0 (SAS Institute Inc., Cary, Estados Unidos).

Resultados y discusión

Bioensayo 1: la tendencia fue ligeramente mayor en los tratamientos donde se empleó, además del fertilizante (Nutriplant®), algún bioestimulante (Figura 2); sin embargo, la prueba ANOVA ($p > 0.05$) no mostró diferencias significativas en ninguna variable. Se llegó a una altura promedio en T1: 15 cm, T2: 16 cm y T3: 13 cm. Esto es un crecimiento de casi el doble inicial, lo que es aceptable para una planta de tan lento crecimiento como el que presentan la mayoría de las bromelias (Sanches, 2009).

Bioensayo 2: como se observa en el Cuadro 1, en esta ocasión sí se encontraron diferencias DMS ($\alpha = 0.05$) en al menos un tratamiento con respecto a otro en las variables número de hojas, unidades SPAD, peso total, foliar, volumen radical, nitratos y área foliar; y ninguna diferencia con las variables altura de planta, peso raíz, potasio y porcentaje de humedad (foliar o raíz). El tratamiento con valores más bajos en todas las variables fue el testigo (T4) donde solo se aplicó el fertilizante, tal y como se observó en el Bioensayo 1, lo que demuestra el beneficio de utilizar un bioestimulante.

Las dosis utilizadas para ambos bioestimulantes fue de las más bajas recomendadas en la literatura; por ejemplo, para la pectina oscila, en cítricos, 10-100 mg L^{-1} (Bao-Fundora et al., 2013); plátano, 10-100 mg L^{-1} (Izquierdo et al., 2009), y caña, 10-30 mg L^{-1} (Nieves et al., 2006). Para quitosano se recomienda, en jitomate, 1-3 g L^{-1} (Reyes-Pérez et al., 2020) o 200-600 mg ha-1 (Morales-Guevara et al., 2023), y en chile, 300 mg ha-1 (Terry Alfonso et al., 2021). En las investigaciones consultadas, se utilizan productos comerciales preparados especialmente como agroquímicos que, en ocasiones, son de venta local; por ejemplo, Chito-care® adicionado con nutrientes o Pectimorf® o Quitomax® en Cuba (Terry Alfonso et al., 2021). En contraste, en la presente

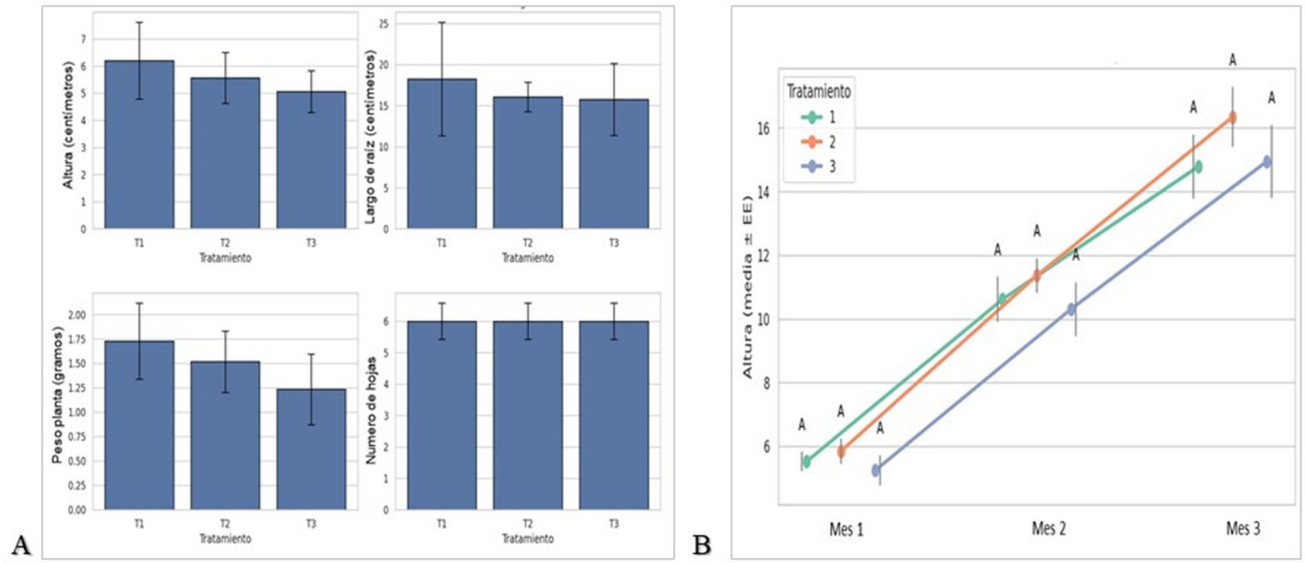

Figura 2. Respuesta promedio de variables observadas 90 días después de iniciada la aclimatación de plántulas de *Billbergia pallidiflora* sometida a T1 (10 mg L^{-1} de quitosano + 2 ml L^{-1} de Nutriplant®Sagal.), T2 (10 mg L^{-1} de pectina de cítrico + 2 ml L^{-1} de Nutriplant®) y el T3 (2 ml de Nutriplant®). *A*) medias ± EE a los 90 días y *B*) medidas ± EE por muestreo y tratamiento, con letras arriba indicando los grupos de significancia.

Cuadro 1. Respuesta promedio de plántulas de *Billbergia pallidiflora* sometidas a cuatro diferentes tratamientos con bioestimulantes durante su aclimatación y desarrollo al quinto mes de observación.

Variable respuesta	Tratamientos con bioestimulantes			
	T1	**T2**	**T3**	**T4**
Núm. hojas	7.4^{a}	7.3^{ab}	6.4^{bc}	6.2^{bc}
Altura planta (cm)	18.5^{a}	20.2^{a}	19^{a}	17.4^{a}
Unidades SPAD	46.4^{a}	51^{a}	47.6^{a}	31.6^{b}
Peso total (g)	23^{ab}	26^{a}	23.3^{ab}	13.2^{b}
Peso foliar (g)	17.4^{ab}	19.3^{a}	18.1^{ab}	10.1^{b}
Peso raíz (g)	5.5^{a}	6.5^{a}	5.1^{a}	3.6^{a}
Volumen radical (cm^3)	10.3^{ab}	12.3^{a}	9.7^{ab}	5.3^{c}
NO_3 (ppm)	35.3^{b}	37.7^{ab}	49^{a}	42.7^{ab}
K^+ (ppm)	32.3^{a}	32^{a}	31.3^{a}	34^{a}
Área foliar (cm^2)	201^{a}	212^{a}	196^{a}	108^{b}
Porcentaje humedad (foliar)	85.1^{a}	83.4^{a}	83^{a}	82.5^{a}
Porcentaje humedad (raíz)	78.8^{a}	78.0^{a}	75.9^{a}	76.4^{a}

T1 (10 mg L^{-1} de quitosano + 2 ml L^{-1} de Nutriplant®), T2 (10 mg L^{-1} de pectina de cítricos + 2 ml L^{-1} de Nutriplant®), T3 (10 mg L^{-1} de quitosano + 10 mg L^{-1} de pectina de cítricos + 2 ml L^{-1} de Nutriplant®) y T4 (2 ml de Nutriplant®). Medias con la misma letra en filas, no son estadísticamente diferentes según la prueba de DMS ($\alpha = 0.05$).

investigación se decidió utilizar el ingrediente activo disponible de manera comercial al público en general, lo que podría ser más atractivo a productores, ya que puede disminuir costos y demuestra su mayor inocuidad de manejo de estos productos; aunado a que no se encontró evidencia de uso anterior en *Billbergia* o alguna otra especie de la familia.

La combinación de nutriente comercial más pectina mostró un desarrollo positivo en varias de las variables evaluadas (Cuadro 1), al presentar mayores medias que cuando se utilizó solo el fertilizante, caso contrario a lo evaluado por Terry Alfonso et al. (2021) —donde incluso observaron una ligera disminución de la masa seca de las plantas cuando se combinó la pectina con fertilizante, no así cuando se combinó con quitosano, al presentar mayor gramaje—, muy posiblemente debido a que, según Ahmed et al. (2019), la aplicación de quitosano y sus oligosacáridos puede mejorar el crecimiento de las plantas, el contenido de clorofila y carotenoides, la absorción de nutrientes, activar mecanismos de defensa, aumentar los metabolitos secundarios y compuestos fenólicos, las propiedades biopesticidas, entre otros. Según López-Guerrero et al (2021), las oligosacarinas solas y en sinergia con la sacarosa tienen efectos positivos, sin precisar el mecanismo de acción. Aunque lo reportado por Lara-Acosta et al (2023) indican que esto podría ser debido a la mayor fijación de nitrógeno. En este trabajo, se esperaba que la combinación de pectina y quitosano presentara mayores resultados, con base en lo reportado por Reyes-Pérez et al. (2021), al considerar que la sinergia de estos elementos envían una señal dual a la planta, lo que estimula las defensas y crecimiento. Lo anterior es debido a que la interacción radica en la estabilidad química que logran al unirse (formando cápsulas protectoras) y en la potenciación de la respuesta inmune de la planta (efecto sinérgico), pero, con esta especie, la única variable donde esta combinación fue ligeramente mayor fue la presencia de NO_3 en salvia.

Durante el primer mes, no se observó crecimiento, esto muy posiblemente debido a la poda inicial de raíces y, como se mencionó anteriormente, esta especie no respondió a la absorción vía foliar; al segundo mes se observó un incremento de 5 cm y, al tercero, de 5 cm más, lo que supondría 10 a 15 meses para alcanzar el tamaño de una planta adulta de *Billbergia* (50-80 cm). Sin importar el tratamiento, las plantas de *B. pallidiflora* destinaron aproximadamente el 70 % de su materia al área foliar, siendo esta la esencia del destino que se busca comercializar. Este trabajo demuestra que *B. pallidiflora* presenta mayor respuesta de asimilación vía sistema radical que vía foliar, al no contar con tri-

comas peltados como otras bromelias, y aunque está esta reportado que puede crecer también de manera litofita y epifita (Baker, 1889), pertenece al grupo de bromelias que presentan un tanque. Por otro lado, aún no se identifica el mecanismo que lleva a una bromelia a asimilar los nutrientes de un modo a otro por la transición morfológica de hojas estrechas a anchas durante la ontogenia (Meisner et al., 2013), lo cual podría estar involucrado al tratarse de una planta relativamente joven que aún no formaba completamente el tanque.

Conclusiones

El uso de quitosano y pectina de cítricos como bioestimulantes, aplicados en riego a una concentración de 10 mg L^{-1}, es una estrategia efectiva que favoreció el crecimiento de *B. palliflora* durante la fase de aclimatación. Estos compuestos mejoran significativamente parámetros clave de desarrollo como número de hojas, unidades SPAD, peso total, peso foliar, volumen radical nitratos y área foliar, en comparación con al menos otro tratamiento. Estimular el crecimiento foliar es particularmente valioso, ya que, al tratarse de una especie de lento crecimiento, se acorta el tiempo necesario para que las plantas alcancen el porte comercial, facilitando así su introducción al mercado. La incorporación de bioestimulantes en los protocolos de aclimatación optimiza la producción comercial sostenible de *B. pallidiflora*, lo que representa una herramienta prometedora para su conservación y aprovechamiento legal.

Agradecimientos

La autora de correspondencia expresa su agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por la beca posdoctoral I1200/320/2022, y al Laboratorio de Fisiología y la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo logístico otorgado durante la ejecución de este proyecto.

Literatura citada

Ahmed, M. K., Khan, M. M. A., Siddiqui, H., & Jahan, A. (2019). Chitosan and its oligosaccharides, a promising option for sustainable crop production: A review. *Carbohydrate Polymers, 227*, 115331. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115331

Ahmed, S., & Ikram, S. (2017). *Chitosan: Derivatives, Composites and Applications*. John Wiley & Sons.

Ahsan, S. M., Thomas, M., Reddy, K. K., Sooraparaju, S. G., Asthana, A., & Bhatnagar, I. (2018). Chitosan as biomaterial in drug delivery and tissue engineering. *International Journal of Biological Macromolecules, 110*, 97-109. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.140

Baker, J. G. (1889). *Handbook of the Bromeliaceae*. Geroge Bell & Sons.

Bao-Fundora, L., Hernández-Ortiz, R. M., Diosdado-Salcés, E., Román-Gutiérrez, M. I., González-Arencibia, C., Rojas-Álvarez, A., & Rodríguez-Valdés, A. (2013). Embriogénesis somática de *Citrus macrophylla* Wester con el empleo del Pectimorf® y análogos de brasinoesteroides. *Revista Colombiana de Biotecnología, 15*, 189-194.

Espejo-Serna, A., Gómez-Escamilla, E., & Villaseñor, J. L. (2018). Bromeliaceae de México. *Botanical Sciences, 96*(3), 533-554.

Ferrari, S., Savatin, D. V., Sicilia, F., Gramegna, G., Cervone, F., & De Lorenzo, G. (2013). Oligogalacturonides: plant damage-associated molecular patterns and regulators of growth and development. *Frontiers in Plant Science, 4*, 49. https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00049

He, J., Han, W., Wang, J., Qian, Y., Saito, M., Bai, W., Song, J., & Lv, G. (2021). Functions of oligosaccharides in improving tomato seeding growth and chilling resistance. *Journal of Plant Growth Regulation, 41*(2), 535-545. https://doi.org/10.1007/s00344-021-10319-0

Hisham, F., Maziati Akmal, M. H., Ahmad, F., Ahmad, K., & Samat, N. (2024). Biopolymer chitosan: Potential sources, extraction methods, and emerging applications. *Ain Shams Engineering Journal, 15*(2), 102424. https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102424

Izquierdo, H., Núñez, M., González, M. C., Proenza, R., & Cabrera, J. C. (2009). Influencia de un oligogalacturónido en la aclimatización de vitroplantas de banano (*Musa spp*.) del clon FHIA-18 (AAAB). *Cultivos Tropicales, 30*(1), 37-42.

Lara-Acosta, D., Ramírez-Yañez, M., Leija-Salas, A., Hernández-Delgado, G., Nápoles-García, M. C., & Falcón-Rodríguez, A. B. (2023). Oligogalacturónidos como alternativa para incrementar la nutrición nitrogenada y el crecimiento en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomía Mesoamericana, 34*(3), 53817. https://doi.org/10.15517/am.2023.53817

López-Guerrero, A. G., Zenteno-Savín, T., Rivera-Cabrera, F., Izquierdo-Oviedo, H., & Soriano Melgar, L. D. A. (2021). Pectin-derived oligosaccharins effects on flower buds opening, pigmentation and antioxidant content of cut lisianthus flowers. *Scientia Horticulturae, 279*, 109909. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109909

Marín-López, L., Valdez-Hernández, E. F., & Hernández-Castro, C. G. (2025). Micropropagación de *Billbergia pallidiflora* una bromelia con potencial ornamental. *Temas Agrarios, 30*(1), 99-110. https://doi.org/10.21897/3x75d533

Meisner, K., Winkler, U., & Zotz, G. (2013). Heteroblasty in bromeliads - anatomical, morphological and physiological changes in ontogeny are not related to the change from atmospheric to tank form. *Functional Plant Biology, 40*(3), 251-262. https://doi.org/10.1071/FP12201

Masondo, N. A., Loubser, J., Moyo, M., Makunga, N. P., Hills, P. N., & Aremu, A. O. (2022). Application of biostimulants in establishing and acclimatizing *in vitro*-raised plants. En S. Gupta & P. Chaturvedi (Eds.), *Commercial Scale Tissue Culture for Horticulture and Plantation Crops* (pp. 121-151). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0055-6_6

Mondragón-Chaparro, D. M., Ramírez-Morillo, I. M. Flores-Cruz, M., & García-Franco, J. G. (2005). *La familia Bromeliaceae en México*. Universidad Autónoma Chapingo.

Morales-Guevara, D., Amico-Rodríguez, J. D., Jerez-Mompie, E., Guerrero-Domínguez, L., & Cruz-Suárez, A. S. (2023). Efecto de una mezcla de polímeros de quitosano en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales, 44*(1), e09.

Nieves, N., Poblete, A., Cid, M., Lezcano, Y., González-Olmedo, J. L., & Cabrera, J. C. (2006). Evaluación del Pectimorf como complemento del 2,4-D en el proceso de la embriogénesis somática de caña de azúcar (*Saccharum spp*.). *Cultivos Tropicales, 27*(1), 25-30.

Pérez-Portuondo, I., López-Duany, A., Pérez-Silva, R. M., Abalos-Rodríguez, A., & Serrat-Díaz, M. (2024). Efecto combinado de rizobacterias y oligogalacturónidos en la estimulación del crecimiento y rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata* L.). *Revista Cubana de Química, 36*(3), 18-26.

Rasband, W. S. (1997-2026). ImageJ. U.S. National Institutes of Health. https://imagej.net/ij/

Reyes-Pérez, J. J., Rivero-Herrada, M., García-Bustamante, E. L., Beltrán-Morales, F. A., & Ruíz-Espinoza, F. H. (2020). Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero. *Biotecnia, 22*(3), 156-163. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i3.1338

Reyes-Pérez, J. J., Ramos-Remache, R. A., Llerena-Ramos, L. T., Ramírez-Arrebato, M. Á., & Falcón-Rodríguez, A. B. (2021). Potencialidades de oligogalacturónidos y quitosacáridos en el enraizamiento de las plantas. *Terra Latinoamericana, 39*, e846. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.846

Rodrigues, A. J. O., Araújo, B. de A., Bezerra, M. A., da Silva, C. de F. B., de Sousa, A. B. O., & Nogueira, C. M. R. (2021). Gas exchange and leaf area of banana plants under salt stress inoculated with growth-promoting bacteria. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 25*(11), 779-786. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n11p779-786

Sáez-Cigarruista, A. E., Morales-Guevara, D., Gordón-Mendoza, R., Jaén-Villareal, J. E., Ramos-Manzané, F. P., & Franco-Barrera, J. (2024). Efecto de un oligosacárido pécticos en el desarrollo radical del maíz. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 33*(2), 1-6.

Salmerón-Flores, A., Valdez-Hernández, E., Rodríguez, J., & Flores-Cruz, M. (2022). Germinación de *Billbergia pallidiflora* Liebm. En *x Congreso Internacional y xxiv Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas 2022*. Universidad Autónoma Chapingo.

Sanches, L. V. C. (2009). *Desenvolvimento de* Aechmea fasciata *(Bromeliaceae) em função de diferentes saturações por bases no substrato y modos de aplicación da fertirrigação* [Tesis inédita de maestría]. Universidade Estadual Paulista.

Terry Alfonso, E., Ruiz Padrón, J., Rivera Espinosa, R., Falcón Rodríguez, A., & Carrillo Sosa, Y. (2021). Bioproducts as partial substitutes for the mineral nutrition of the pepper crop (*Capsicum annuum* L.). *Acta Agronómica, 70*(3). https://doi.org/10.15446/acag.v70n3.86626

Velasco Reyes, J. F., Díaz Narváez, G. C., Ramírez Carrillo, R. E., & Pérez Cabrera, L. E. (2019). Producción de quitosano a partir de desechos de camarón generados del procesamiento industrial. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 4*, 897-901.

Xu, L., & Geelen, D. (2018). Developing biostimulants from agro-food and industrial by-products. *Frontiers in Plant Science, 9*, 1567. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01567