



DOI: [10.29298/rmcf.v16i91.1575](https://doi.org/10.29298/rmcf.v16i91.1575)

Artículo de revisión

Potencial del uso de bioestimulantes en el manejo del arbolado urbano

Potential for the use of biostimulants in urban tree management

Juan Carlos Cuevas Cruz¹, Tomás Martínez-Trinidad^{2*}

Fecha de recepción/Reception date: 19 de mayo de 2025.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 22 de julio de 2025.

¹Universidad Autónoma Chapingo-Centro Regional Universitario del Anáhuac. México.

²Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, Posgrado en Ciencias Forestales. México.

*Autor por correspondencia; correo-e: tomtz@colpos.mx

*Corresponding author; email: tomtz@colpos.mx

Resumen

Los bioestimulantes son sustancias que, sin ser nutrientes, pesticidas o mejoradores del suelo, promueven el crecimiento de las plantas cuando se aplican en pequeñas cantidades. Se agrupan en cuatro categorías: ácidos, microorganismos, compuestos bioactivos de origen vegetal y otros. Su aplicación en arbolado urbano busca mejorar la vitalidad y resistencia ante condiciones de estrés. Entre los bioestimulantes empleados destacan extractos de algas marinas, ácidos húmicos, carbohidratos no estructurales, paclobutrazol y microorganismos benéficos. Estos han mostrado eficacia frente al estrés por sequía, salinidad o hídrico, además de fortalecer el sistema inmunitario de los árboles. Productos comerciales a base de ácidos húmicos han mejorado la supervivencia, el vigor de raíces y brotes, y la vitalidad general, evidenciado por resultados en el aumento en la fluorescencia de clorofila. Por otro lado, la aplicación de almidón y glucosa eleva los niveles de almidón en el tronco, lo cual es deseable ya que su reducción se asocia con la muerte en condiciones de estrés severo. Entre los bioestimulantes, los hongos micorrízicos han sido los más estudiados en el arbolado urbano, ya que proporcionan beneficios consistentes en variables de crecimiento y adaptación, incluso a nivel molecular. Finalmente, aunque gran parte del conocimiento sobre bioestimulantes proviene de la agricultura, su potencial en arboricultura es alto. Este trabajo presenta una revisión sobre su uso en condiciones de campo y ambientes semicontrolados; así como, las limitaciones que enfrenta su aplicación en el manejo del arbolado urbano.

Palabras clave: Arboricultura, dasonomía urbana, estrés, micorrizas, paclobutrazol, vitalidad.

Abstract

Biostimulants are substances that, although not classified as nutrients or pesticides, are soil improvers and promote plant growth when applied in small quantities. They are categorized into four groups: acids, microorganisms, bioactive compounds of plant origin, and others. Their application in urban trees aims to improve vitality and enhance resilience under stress conditions. Commonly used biostimulants include seaweed extracts, humic acids, non-structural carbohydrates, paclobutrazol, and beneficial microorganisms. These have shown effectiveness against drought, water, and salinity stress, and in strengthening the immune system of trees. Commercial biostimulants based on humic acids have improved survival rates, root and shoot vigor, and overall vitality, as evidenced by increased chlorophyll fluorescence. Additionally, the application of starch and

glucose increases starch levels in tree trunks—an important factor, as starch depletion under severe stress is associated with tree mortality. Among biostimulants, mycorrhizal fungi are the most extensively studied in urban forestry, consistently demonstrating benefits in growth variables and stress adaptation, even at the molecular level. Finally, although most biostimulant-related knowledge comes from agricultural systems, their potential use in urban arboriculture is significant. This work presents a review of their application in field and semi-controlled environments, as well as the challenges associated with their use in urban tree management.

Keywords: Arboriculture, urban forestry, stress, mycorrhiza, paclobutrazol, vitality.

Introducción

Los árboles con buena vitalidad son valiosos en las ciudades, porque proporcionan de manera más efectiva servicios ecosistémicos como el secuestro de CO₂, la reducción del ruido y la purificación del aire (Derkzen et al., 2015). Además, brindan protección a los peatones y a la infraestructura contra las fuertes ráfagas de viento, regulan la temperatura, y dan valor recreativo, que está relacionado con la salud y la calidad de vida de las personas (Wang et al., 2022). Sin embargo, el crecimiento y desarrollo de los árboles en ambientes urbanos enfrenta muchos desafíos: suelos pobres y contaminados (Rosier et al., 2021), estrés hídrico debido a elevadas temperaturas por islas de calor (Marchin et al., 2025) y suelos salinos (Zwiazek et al., 2019); factores que, en su conjunto, debilitan al árbol y le generan cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos (Seleiman et al., 2021).

La aplicación de bioestimulantes o compuestos orgánicos ha sido una práctica que ayuda a mejorar la vitalidad de los árboles (Percival, 2010). Los bioestimulantes se definen como sustancias que, sin pertenecer a la categoría de nutrimentos, mejoradores del suelo o pesticidas, aplicados en cantidades mínimas promueven el crecimiento de las plantas (du Jardin, 2015). La mayoría de los bioestimulantes que se utilizan son mezclas de sustancias químicas derivadas de un proceso biológico o de la extracción de materiales biológicos (Yakhin et al., 2017).

Se clasifican en cuatro grupos: ácidos, microorganismos, sustancias bioactivas de origen vegetal y de otro tipo (Hasanuzzaman et al., 2021). En la categoría de bioestimulantes vegetales se distinguen seis tipos: quitosano, ácidos húmicos y fúlvicos, hidrolizados de proteínas animales y vegetales, fosfitos, extractos de algas y silicio (Zulfiqar et al., 2024). Además, se incluyen la acrilamida, aminoácidos, bacterias promotoras del crecimiento vegetal, carbohidratos, hongos ectomicorrízicos y endomicorrízicos, así como vitaminas (Percival, 2010).

En árboles urbanos se han aplicado sustancias húmicas, hidrolizado de proteínas y extractos de alga (Cinantya et al., 2024), además de compuestos químicos como el paclobutrazol (Martínez-Trinidad et al., 2013b) y los carbohidratos no estructurales al suelo alrededor de árboles bajo condiciones de estrés (Hartmann & Trumbore, 2016). Sin embargo, la aplicación de bioestimulantes se ha usado principalmente en cultivos agrícolas (Zulfiqar et al., 2024).

Bioestimulantes aplicados en árboles

Extractos de alga marina y ácidos húmicos

Son considerados bioestimulantes porque contienen aminoácidos, vitaminas, hormonas de crecimiento y en ocasiones macro y micronutrientes (Ördög et al., 2004). Los ácidos húmicos son compuestos orgánicos formados a partir de la humificación química y biológica de la materia vegetal y animal, que han demostrado aumentar el crecimiento de las plantas y mejorar la asimilación de nitrógeno, fósforo y potasio (Leite et al., 2020). Pertenecen al grupo de sustancias húmicas que incluye el ácido fúlvico, huminas, aminoácidos, ácidos grasos y ácidos orgánicos (Hasanuzzaman et al., 2021). El método de aplicación puede ser foliar, sobre las

raíces y la combinación de estas. Los extractos se incorporan al suelo mediante fertirriego, goteo o empapado (Jayaraman & Ali, 2015). El uso de bioestimulantes comerciales a base de ácidos húmicos en *Betula pendula* Roth y *Sorbus aucuparia* L. mejoró el vigor de raíces, brotes y tasas de supervivencia, en los que se observaron aumentos en las emisiones de fluorescencia de clorofila (0.6 testigo vs. 0.7 mejor tratamiento Fv/Fm) y contenidos de clorofila (13.5 testigo vs. 17.1 mejor tratamiento), con aplicaciones de 10 a 30 mL L⁻¹ (Barnes & Percival, 2006).

Algunas especies arbóreas en áreas urbanas bajo condiciones de estrés por sequía, luego de la aplicación de ácido húmico y extracto de algas (50 mL, cinco aplicaciones), únicamente mejoraron en el crecimiento en altura, sin que se pudieran relacionar efectos positivos por el uso de los bioestimulantes (Cinantya et al., 2024). Esta tendencia de nula respuesta bajo estrés por sequía también se detectó en *Quercus ilex* L., *Ilex aquifolium* L., *Sorbus aucuparia* y *Fagus sylvatica* L., en los que la evaluación del producto *Maxicrop Original*® (Reino Unido), *Bioplex*® (Reino Unido) y *Redicrop*® (Reino Unido) con ingrediente activo de extracto de algas, extracto de algas+ácidos húmicos y extracto de algas con actividad de citoquinina, respectivamente, no mostró efectos benéficos en Fv/Fm, ni en variables relacionadas con el estrés (Banks & Percival, 2014). Los resultados pueden estar relacionados con las dosis, pues se ha identificado que los efectos deseados se muestran hasta la aplicación de 10 veces la dosis recomendada (Chen et al., 2004).

Aplicaciones de carbohidratos no estructurales (CNE)

Son macromoléculas que sirven de sustrato para el metabolismo primario y secundario de las plantas. Glucosa, fructosa o galactosa son CNE empleados como sustratos para la respiración y síntesis de otras moléculas (Hartmann & Trumbore, 2016). Cuando los árboles enfrentan condiciones de estrés como sequía prolongada

o salinidad reducen la asignación de carbohidratos en sus tejidos y en sus mecanismos de defensa de osmorregulación y osmoprotección, y se agotan por completo sus reservas (Hartmann & Trumbore, 2016; Zhang et al., 2021).

La aplicación de carbohidratos en forma de almidón y glucosa en árboles tiene como propósito incrementar los niveles energéticos del árbol a fin de destinar las mayores reservas a su crecimiento y favorezcan su vitalidad (Martínez-Trinidad et al., 2013a). En árboles de 0.05 m de *Dn* y 2.0 metros de altura de *Jacaranda mimosifolia* D. Don., la aplicación de 10 L de solución al suelo (80 g·L⁻¹ de glucosa con 80 g·L⁻¹ de sacarosa), mejoró la materia seca de raíces ($P \leq 0.05$) después de 371 días con una concentración de carbohidratos de 0.034 g, mientras que el tratamiento testigo alcanzó 0.006 g (Morales-Gallegos et al., 2020). Mayores concentraciones de glucosa en las raíces se han asociado con una absorción de nutrientes más eficaz y con aumentos de N en las hojas (Shao et al., 2023). La glucosa participa en procesos de transporte de NO_3^- y NH_4^+ , por lo que su presencia en la raíz favorece el diálogo molecular (Zhou et al., 2009).

Se han hecho aplicaciones de almidón y glucosa en concentraciones de 120 g L⁻¹ al suelo a 0.5 m de distancia de árboles jóvenes de *Quercus virginiana* Mill., aunque se observaron mayores concentraciones de glucosa en brotes; las firmas de $\delta^{13}\text{C}$ no arrojaron evidencia que se debió al suministro (Martínez-Trinidad et al., 2009).

En contraste, otro estudio con *J. mimosifolia* con aplicación de 80 g L⁻¹ de glucosa en el tronco (árboles de 27 cm de *Dn*), aumentó más de dos veces las reservas de almidón en el tronco (Morales-Gallegos et al., 2019). Mayores reservas de almidón ayudan a los árboles a soportar condiciones de estrés, ya que se ha determinado que la disminución de almidón a niveles casi nulos está relacionada con su muerte (Zhang et al., 2021). Por lo tanto, los árboles sobremaduros exhiben agotamiento de almidón, glucosa, fructosa y sacarosa (Hartmann & Trumbore, 2016). En los tejidos leñosos, la degradación de almidón se presenta en otoño y primavera, por lo

que disponer de reservas es crucial para tolerar bajas temperaturas y sostener su crecimiento en primavera (Noronha et al., 2018).

Aplicación de paclobutrazol (PBZ)

Este es un compuesto químico conocido por inhibir el crecimiento, promover la ramificación, estimular la formación del sistema radical y aumentar la resistencia de las plantas al estrés (Jiang et al., 2019). En árboles de *Populus alba* L. sometidos a podas severas, la aplicación cercana al tronco de 0.8 g de PBZ favoreció una mayor concentración de azúcares no reductores en el tronco y follaje. Sin embargo, las variables de crecimiento y de vitalidad no se vieron influenciadas (Martínez-Trinidad et al., 2013b). En árboles de *Fraxinus americana* L., *F. quadrangulata* Michx. y *F. mandshurica* Rupr., la aplicación de PBZ aumentó la proporción raíz: biomasa total en 9 y 10 %, y resultó positiva para mejorar la absorción de agua y nutrientes, bajo las condiciones de sequía y suelos urbanos poco fértiles (Tanis et al., 2015).

En las raíces de árboles frutales sometidos a estrés hídrico, se ha encontrado que aplicaciones de 1 200 mg planta⁻¹ aumentan linealmente los contenidos de azúcares solubles totales, almidón y azúcares reductores, e inhiben el crecimiento de los árboles y favorecen su floración (de Sousa-Oliveira et al., 2022). Por lo tanto, el uso de PBZ en árboles presenta variación de los resultados entre especies, parámetros de crecimiento y concentraciones.

Hongos micorrízicos como bioestimulantes microbianos

Los bioestimulantes a base de microorganismos se consideran un subgrupo de la familia heterogénea de bioestimulantes, ya que estimulan procesos bioquímicos y fisiológicos

que favorecen la disponibilidad de nutrientes, fortalecen el sistema de respuesta de las plantas y, en consecuencia, mejoran su rendimiento (Joly et al., 2021). Los hongos ectomicorrízicos (HEM) y arbusculares (HMA), son reconocidos como bioestimulantes (Sun & Shahrajabian, 2023), que están fuertemente relacionados con el crecimiento y vitalidad de árboles en ambientes urbanos (Rusterholz et al., 2020); por ejemplo, *Carya ovata* (Mill.) K. Koch con 80 % de colonización micorrízica tiene una probabilidad de supervivencia de 1.0 y *Quercus rubra* L. requiere 100 % de colonización para tener una probabilidad cercana a 0.8 (Tonn & Ibáñez, 2017).

La inoculación de plantas de *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh. con *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch (HEM) y *Glomus intraradices* N. C. Schenck & G. S. Sm. (HMA), ahora renombrada como *Rhizoglomus intraradices* (N. C. Schenck & G. S. Sm.) Sieverd., G. A. Silva & Oehl (Sieverding et al., 2014), en sitios severamente erosionados y con bajos contenidos de materia orgánica (0.78 %), mostró una supervivencia de 64 % a los 23 meses del establecimiento, y de 46 % en plantas no inoculadas (Báez-Pérez et al., 2017). La inoculación de *P. tinctorius* tiene efectos positivos en el crecimiento de la raíz de árboles, pues aumenta 1.89 veces más el peso seco de raíces y mejora el potencial de la planta para la absorción de nutrientes (Sebastiana et al., 2021). También, la inoculación de *F. uhdei* con *Lactarius deliciosus* (L.) Gray y *Laccaria laccata* (Scop.) Cooke (HEM) en concentraciones de 2.5×10^5 y 1×10^6 establecidas en un sustrato de Jal contaminado con metales pesados, manifestó mejor crecimiento en altura (47 cm) y peso seco (12 g), mientras que las plantas sin inocular alcanzaron una altura de 38 cm y peso seco de 9 g (Pérez-Baltazar et al., 2020). La inoculación de plantas de especies arbóreas con HMA tiene efectos positivos durante el trasplante de vivero a sitios urbanos, e influye de manera significativa en la supervivencia de las plantas, incluso más determinante que las dosis de fertilizantes aplicadas en la etapa de vivero (Fini et al., 2016).

La interacción HMA-planta huésped puede reducir la biosíntesis de flavonoides, y afecta la resistencia de los álamos, por lo que es necesario determinar la asociación

HMA-planta huésped que genera interacciones positivas (Jiang et al., 2022). En plántulas de *Populus alba* × *P. berolinensis* inoculadas con *Glomus mosseae* (T. H. Nicolson & Gerd.) Gerd. & Trappe (15 propágulos g de inóculo), aumentó la cantidad de metabolitos con propiedades insecticidas en el follaje: cumarina, estaquidrina, artocarpina, norizalpinina, ácido abiético, 6-formylumbeliferona y ácido vainílico (Shuai et al., 2021). Mientras que el uso de *Laccaria bicolor* (Maire) P. D. Orton en plántulas de *Populus trichocarpa* Torr. & A. Gray para combatir el cancro del álamo *Botryosphaeria dothidea* (Moug.) Ces. & De Not. mostró que 12 de 661 genes están relacionados con la resistencia a enfermedades (Dong et al., 2021).

La simbiosis raíz-HMA otorga otras habilidades al árbol, mejora aspectos bioquímicos como la regulación de metabolitos con fuerte capacidad antioxidante (Calvo-Polanco et al., 2019; Zhang et al., 2022). También en árboles de uso urbano y especies ornamentales aumentan los niveles de fitohormonas, ácido indol-3-acético (IAA), giberelinas (GA3) y la relación IAA-ácido abscísico (ABA) y GA3-ABA. Por ejemplo, en *Cupressus arizonica* Greene al establecer simbiosis con *Rhizophagus irregularis* (Błaszk., Wubet, Renker & Buscot) C. Walker & A. Schüßler y *Funneliformis mosseae* (T. H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler (sinonimia de *Glomus mosseae*) en condiciones de sequía aumenta 122 % sus niveles de prolina y el contenido de malondialdehído (MDA) –enzima antioxidante– aumentó 68 % (Aalipour et al., 2020). La respuesta de este tipo de bioestimulantes son de tipo anticipatoria, ya que están dirigidos a la producción de planta que será establecida en el ambiente urbano, por lo que su uso en árboles maduros no se considera (Zwiazek et al., 2019); sin embargo, se recomienda la aplicación de enmiendas orgánicas en árboles maduros ya que favorecen mayores porcentajes de colonización de hongos micorrízicos (Ali et al., 2019).

El uso de enmiendas a base de biocarbón y compostas en árboles de *Melia azedarach* L. y *Ficus macrocarpa* Blume mejoró las propiedades fisicoquímicas del suelo, observándose una disminución de la materia orgánica, calcio y fosforo disponible en el suelo, indicando la absorción de nutrientes por parte de los árboles (Shiu et al.,

2022). Suelo rizosférico de árboles en un ambiente urbano, con pronunciadas deficiencias nutrimentales, presenta baja colonización micorrízica, por lo que las enmiendas orgánicas son un factor que permite la simbiosis (Alam et al., 2025).

Potencial y limitaciones en el uso de bioestimulantes

La revisión se enfocó en cuatro alternativas de una lista extensa de bioestimulantes que han demostrado beneficios en plantas perennes. Los bioestimulantes a base de microorganismos se consideran los de mayor potencial para ser empleados en árboles de uso urbano, puesto que con el avance de las ciencias *ómicas*, se tiene mayor comprensión sobre su funcionamiento (Bizjak et al., 2023). Mecanismos como la fijación de N₂, biosíntesis de hormonas, regulación de especies reactivas de oxígeno, expresión de genes relacionados con diferentes tipos de estrés, son algunas de las capacidades que exhiben hongos y bacterias que establecen diferentes niveles de asociación o simbiosis con los árboles (Hasanuzzaman et al., 2021). Sin embargo, los microorganismos generan menores efectos positivos bajo las formas de producción convencional, por lo que es necesario diseñar protocolos con base en la problemática a resolver (Abaurre et al., 2021).

Los extractos de algas y la combinación con ácidos húmicos no han generado respuestas positivas en el arbolado para uso urbano (Banks & Percival, 2014). Entre las posibles razones del limitado éxito se ha analizado la calidad del producto (Yakhin et al., 2017). También se ha debatido sobre la forma de aplicación, principalmente esta se realiza en el suelo y probablemente esta sea una razón principal del por qué en ambientes urbanos no se tienen referencias positivas (Cinantya et al., 2024). Por ejemplo, en árboles de manzano (*Malus domestica* (Suckow) Borkh.) la aplicación a 1 % (1 L 99 L⁻¹ agua) del producto *Fertiactyl Starter*® (Reino Unido) a base de algas marinas y ácidos húmicos, después de tres años, favorece tallos más gruesos con diferencias de 16.3 mm y 21.9

mm en comparación con árboles testigo (Kaplan et al., 2021). Aplicaciones cada 20 días del producto de microalgas *AgriAlgae*® (Madrid, España) y algas *Seaweed Mix*® (Madrid, España) en árboles de olivo (*Olea europaea* L.) bajo un régimen de riego de 50 %, mejoran su área foliar en 26 y 44 %, y mantienen los niveles de conductancia estomática similares a plantas bajo régimen de riego de 100 % (Graziani et al., 2022).

Luego entonces ¿cómo se explica que en *Quercus ilex*, *Ilex aquifolium*, *Sorbus aucuparia* y *Fagus sylvatica*, siete productos de bioestimulantes, incluidos tres a base de algas, no generen ningún beneficio en el crecimiento y fisiología del árbol? (Banks & Percival, 2014). Los suelos urbanos acentúan características desfavorables para el crecimiento y salud de los árboles, tales como pH elevado, compactación, suelos pobres en elementos minerales y contaminación (Rosier et al., 2021). Por ello, en condiciones extremas, los bioestimulantes a base de extractos de algas no se consideran una buena alternativa (Ricci et al., 2019).

La diversidad de productos es un factor que puede limitar el uso de bioestimulantes, cada uno con diferente ingrediente activo (Sun et al., 2024). En caso de que no se atiendan los protocolos de aplicación o no se tenga experiencia en su manejo, se pueden obtener resultados en la fisiología y morfología del árbol diferentes a los esperados (Sun & Shahrajabian, 2023). También en la literatura se perciben contradicciones de tipo epistemológico, de tal manera que hay discrepancias sobre a qué se le llama bioestimulante (Yakhin et al., 2017). Esto genera un estado de indefinición sobre los alcances de esta tecnología empleada en árboles.

El uso de bioestimulantes en el arbolado urbano a base de carbohidratos no estructurales, como la aplicación de glucosa y sacarosa, está restringido a pocas referencias. Sin embargo, en árboles frutales la aplicación de azúcares y aminoácidos es frecuente, puesto que su campo de aplicación es motivado por el mercado de frutas (Sun et al., 2024). Mientras que, en árboles de uso urbano, probablemente la falta de beneficios económicos directos ha limitado profundizar en la investigación, a fin de encontrar resultados más contundentes en la vitalidad de

los árboles. A continuación, se presenta un resumen del uso potencial y las limitaciones en árboles en ambientes urbanos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Uso y beneficios de sustancias bioestimulantes en árboles.

Tipo de bioestimulante	Especie	Beneficios sobre el árbol	Referencia
Extractos de alga marina	<i>Quercus ilex</i> L., <i>Ilex aquifolium</i> L., <i>Sorbus aucuparia</i> L. y <i>Fagus sylvatica</i> L.	No mostró efectos benéficos en Fv/Fm, ni en variables relacionadas con el estrés	Banks y Percival (2014)
	Nueve especies	Crecimiento en altura	Cinantya et al. (2024)
Ácidos húmicos (Ah)	<i>Betula pendula</i> Roth y <i>Sorbus aucuparia</i> L.	Mejor Fv/Fm: 0.7 con Ah y 0.6 sin Ah; mejor contenido de clorofila: 17.1 con Ah y 13.5 sin Ah	Barnes y Percival (2006)
Carbohidratos no estructurales	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Mayor materia seca y concentración de carbohidratos	Morales-Gallegos et al. (2020)
Aplicación de paclobutrazol	<i>Populus alba</i> L.	Mayor concentración de azúcares no reductores en el tronco y follaje	Martínez-Trinidad et al. (2013b)
	<i>Fraxinus americana</i> L., <i>F. quadrangulata</i> Michx. y <i>F. mandshurica</i> Rupr.	Aumento en la proporción de raíz: biomasa total en 9 y 10 %	Tanis et al. (2015)
Hongos micorrízicos	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.	Supervivencia de 64 % en planta inoculada. 46 % de sobrevivencia en planta no inoculada	Báez-Pérez et al. (2017)
		Mejora crecimiento en altura y peso seco: 47 cm y 12 g con inóculos y 38 cm y 9 g sin inocular	Pérez-Baltazar et al. (2020)
	<i>Populus alba</i> × <i>P. berolinensis</i>	Aumentó la cantidad de metabolitos con propiedades insecticidas en el follaje	Jiang et al. (2022)
	<i>Populus trichocarpa</i> Torr. & A. Gray	Expresión de 12 genes relacionados con la resistencia a enfermedades	Dong et al. (2021)

<i>Cupressus arizonica</i> Greene	Aumenta 122 % sus niveles de prolina; el contenido de malondialdehído (MDA) – enzima antioxidante– aumentó 68 %	Aalipour et al. (2020)
--------------------------------------	---	------------------------

Conclusiones

En general, los resultados del uso de los bioestimulantes han sido limitados, en parte debido a factores como la ontogenia del árbol y la heterogeneidad ambiental de los entornos urbanos, que dificultan observar efectos consistentes en variables de crecimiento, fisiológicas o de acumulación de carbohidratos. Por ello, se propone considerar variables a nivel molecular, como la expresión de enzimas, proteínas y genes, para entender mejor los mecanismos de acción. Entre todos, los hongos micorrízicos destacan por la amplitud de evidencia sobre sus beneficios en crecimiento, biomasa radicular, altura, diámetro y absorción de nutrientes, además de su influencia positiva en la expresión génica relacionada con resistencia sistémica. No obstante, persiste el desafío de contar con inóculos eficientes y específicos para especies de interés. A pesar de la escasa literatura en ambientes urbanos, los cuatro tipos de bioestimulantes muestran potencial para ser utilizados en arboricultura, siempre que se profundice en aspectos clave como dosis, combinaciones, especies, tiempos y frecuencias de aplicación. Así, el uso de bioestimulantes representa una línea de investigación aún abierta y prometedora en el manejo del arbolado urbano.

Agradecimientos

Se agradece la beca de posgrado otorgada al primer autor por parte de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Juan Carlos Cuevas Cruz: revisión de literatura, elaboración del manuscrito; Tomás Martínez-Trinidad: elaboración, revisión y reestructuración del manuscrito.

Referencias

- Aalipour, H., Nikbakht, A., Etemadi, N., Rejali, F., & Soleimani, M. (2020). Biochemical response and interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria during establishment and stimulating growth of Arizona cypress (*Cupressus arizonica* G.) under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 261, Article 108923. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108923>
- Abaurre, G. W., Saggin Jr., O. J., & de Faria, S. M. (2021). Interaction of substrates and inoculants for *Samanea saman* (Jacq.) Merr seedling production. *Floresta e Ambiente*, 28(4), Article e20210046. <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2021-0046>
- Alam, S., Azim, A., Al-Mamun, A., Ahammed, S., Ahmed, S., Zaman, S. M. S., Sultana, S., Parvez, M., Nasrin, S., & Halder, M. (2025). The mycorrhiza fungi

colonization and relationship with rhizosphere soil properties in the urban and suburban area of Southwestern Bangladesh. *Total Environment Microbiology*, 1(1), Article 100003. <https://doi.org/10.1016/j.temicr.2025.100003>

Ali, A., Ghani, M. I., Ding, H., Fan, Y., Cheng, Z., & Iqbal, M. (2019). Co-amended synergistic interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and the organic substrate-induced cucumber yield and fruit quality associated with the regulation of the AM-fungal community structure under anthropogenic cultivated soil. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(7), Article 1539. <https://doi.org/10.3390/ijms20071539>

Báez-Pérez, A. L., Lindig-Cisneros, R., & Villegas, J. (2017). Survival and growth of nursery inoculated *Fraxinus uhdei* in Acrisol gullies. *Madera y Bosques*, 23(3), 7-14. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331418>

Banks, J. M., & Percival, G. C. (2014). Failure of foliar-applied biostimulants to enhance drought and salt tolerance in urban trees. *Arboriculture & Urban Forestry*, 40(2), 78-83. <https://doi.org/10.48044/jauf.2014.009>

Barnes, S., & Percival, G. C. (2006). Influence of biostimulants and water-retaining polymer root dips on survival and growth of newly transplanted bare-rooted silver birch and rowan. *Journal of Environmental Horticulture*, 24(3), 173-179. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-24.3.173>

Bizjak, T., Sellstedt, A., Gratz, R., & Nordin, A. (2023). Presence and activity of nitrogen-fixing bacteria in Scots pine needles in a boreal forest: a nitrogen-addition experiment. *Tree Physiology*, 43(8), 1354-1364. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpad048>

Calvo-Polanco, M., Armada, E., Zamarreño, A. M., García-Mina, J. M., & Aroca, R. (2019). Local root ABA/cytokinin status and aquaporins regulate poplar responses to mild drought stress independently of the ectomycorrhizal fungus *Laccaria bicolor*. *Journal of Experimental Botany*, 70(21), 6437-6446. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz389>

- Chen, Y., De Nobili, M., & Avid, T. (2004). Stimulatory effect of humic substances on plant growth. In F. Magdoff & R. R. Weil (Eds.), *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture* (pp. 103-129). CRS Press. [https://hkst.cqucas.ac.cn/Files/sitefile_10/Image/files/%E7%94%9F%E6%80%81%E5%AD%A6%E7%9B%B8%E5%85%B3%E8%91%97%E4%BD%9C%20Soil%20Organic%20Matter%20in%20Sustainable%20Agriculture%20by%20Magdoff,%20Fred%20\(z-lib.org\).pdf?03115517](https://hkst.cqucas.ac.cn/Files/sitefile_10/Image/files/%E7%94%9F%E6%80%81%E5%AD%A6%E7%9B%B8%E5%85%B3%E8%91%97%E4%BD%9C%20Soil%20Organic%20Matter%20in%20Sustainable%20Agriculture%20by%20Magdoff,%20Fred%20(z-lib.org).pdf?03115517)
- Cinantya, A., Manea, A., & Leishman, M. R. (2024). Biostimulants do not affect the performance of urban plant species grown under drought stress. *Urban Ecosystems*, 27, 1251-1261. <https://doi.org/10.1007/s11252-024-01521-5>
- de Sousa-Oliveira, K. Â., Coelho-Lopes, P. R., Cavalcante, Í., Cunha-Filho, J., dos Santos-Silva, L., Valença-Pereira, E. C., & Teixeira-Lobo da Silva, J. (2022). Impact of paclobutrazol on gibberellin-like substances and soluble carbohydrates in pear trees grown in tropical semiarid. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 54(1), 46-56. <https://doi.org/10.48162/rev.39.064>
- Derkzen, M. L., van Teeffelen, A. J. A., & Verburg, P. H. (2015). Quantifying urban ecosystem services based on high-resolution data of urban green space: an assessment for Rotterdam, the Netherlands. *Journal of Applied Ecology*, 52(4), 1020-1032. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12469>
- Dong, F., Wang, Y., & Tang, M. (2021). Effects of *Laccaria bicolor* on gene expression of *Populus trichocarpa* root under poplar canker stress. *Journal of Fungi*, 7(12), Article 1024. <https://doi.org/10.3390/jof7121024>
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticulturae*, 196, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Fini, A., Ferrini, F., Seri, M., Amoroso, G., Piatti, R., Robbiani, E., & Frangi, P. (2016). Effect of fertilization and mycorrhizal inoculation in the nursery on post-transplant growth and physiology in three ornamental woody species. *Acta*

- Horticulturae*, (1108), 47-54.
https://www.actahort.org/members/showpdf?booknrarnr=1108_6
- Graziani, G., Cirillo, A., Giannini, P., Conti, S., El-Nakhel, C., Rouphael, Y., Ritieni, A., & Di Vaio, C. (2022). Biostimulants improve plant growth and bioactive compounds of young olive trees under abiotic stress conditions. *Agriculture*, 12(2), Article 227. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020227>
- Hartmann, H., & Trumbore, S. (2016). Understanding the roles of nonstructural carbohydrates in forest trees—from what we can measure to what we want to know. *New Phytologist*, 211(2), 386-403. <https://doi.org/10.1111/nph.13955>
- Hasanuzzaman, M., Parvin, K., Bardhan, K., Nahar, K., Anee, T. I., Masud, A. A. C., & Fotopoulos, V. (2021). Biostimulants for the regulation of reactive oxygen species metabolism in plants under abiotic stress. *Cells*, 10(10), 2537. <https://doi.org/10.3390/cells10102537>
- Jayaraman, J., & Ali, N. (2015). Use of seaweed extracts for disease management of vegetable crops. In S. Ganesan, K. Vadivel & J. Jayaraman (Eds.), *Sustainable crop disease management using natural products* (pp. 160-183). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781780643236.0160>
- Jiang, D., Lin, R., Tan, M., Yan, J., & Yan, S. (2022). The mycorrhizal-induced growth promotion and insect resistance reduction in *Populus alba* × *P. berolinensis* seedlings: a multi-omics study. *Tree Physiology*, 42(5), 1059-1069. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpab155>
- Jiang, X., Wang, Y., Xie, H., Li, R., Wei, J., & Liu, Y. (2019). Environmental behavior of paclobutrazol in soil and its toxicity on potato and taro plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 27385-27395. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05947-9>
- Joly, P., Calteau, A., Wauquier, A., Dumas, R., Beuvin, M., Vallenet, D., Crovadore, J., Cochard, B., Lefort, F., & Berthon, J.-Y. (2021). From strain characterization to field authorization: Highlights on *Bacillus velezensis* strain B25 beneficial properties

- for plants and its activities on phytopathogenic fungi. *Microorganisms*, 9(9), 1924. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091924>
- Kaplan, M., Lenart, A., Klimek, K., Borowy, A., Wrona, D., & Lipa, T. (2021). Assessment of the possibilities of using cross-linked polyacrylamide (Agro Hydrogel) and preparations with biostimulation in building the quality potential of newly planted apple trees. *Agronomy*, 11(1), 125. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010125>
- Leite, J. M., Pitumpe-Arachchige, P. S., Ciampitti, I. A., Hettiarachchi, G. M., Maurmann, L., Trivelin, P. C. O., Vara-Prasad, P. V., & Sunoj, S. V. J. (2020). Co-addition of humic substances and humic acids with urea enhances foliar nitrogen use efficiency in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Heliyon*, 6(10), Article e05100. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05100>
- Marchin, R. M., Esperon-Rodriguez, M., Tjoelker, M. G., & Ellsworth, D. S. (2025). Understanding urban tree heat and drought stress by tracking growth and recovery following an extreme year. *Landscape and Urban Planning*, 261, Article 105394. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2025.105394>
- Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F. O., e Islas-Rodríguez, L. (2013a). La relación entre los carbohidratos y la vitalidad en árboles urbanos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(3), 459-468. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.03.016>
- Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F. O., y Cetina-Alcalá, V. M. (2013b). Crecimiento y vitalidad de *Populus alba* L. con desmoche y tratado con paclobutrazol. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(3), 381-388. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.05.016>
- Martinez-Trinidad, T., Watson, W. T., Arnold, M. A., & Lombardini, L. (2009). Investigations of exogenous applications of carbohydrates on the growth and vitality of live oaks. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(1), 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2008.11.003>

- Morales-Gallegos, L. M., Martínez-Trinidad, T., Gómez-Guerrero, A., Razo-Zarate, R., y Suárez-Espinoza, J. (2019). Inyecciones de glucosa en *Jacaranda mimosifolia* D. Don en áreas urbanas de Texcoco de Mora. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(52), 79-98. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i52.414>
- Morales-Gallegos, L. M., Martínez-Trinidad, T., Gómez-Guerrero, A., & Suárez-Espinoza, J. (2020). Carbohydrate-based urban soil amendments to improve urban tree establishment. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 26(3), 343-356. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.10.076>
- Noronha, H., Silva, A., Dai, Z., Gallusci, P., Rombolà, A. D., Delrot, S., & Gerós, H. (2018). A molecular perspective on starch metabolism in woody tissues. *Planta*, 248, 559-568. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-2954-2>
- Ördög, V., Stirk, W. A., Van Staden, J., Novák, O., & Strnad, M. (2004). Endogenous cytokinins in three genera of microalgae from the Chlorophyta. *Journal of Phycology*, 40(1), 88-95. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2004.03046.x>
- Percival, G. C. (2010). Effect of systemic inducing resistance and biostimulant materials on apple scab using a detached leaf bioassay. *Arboriculture & Urban Forestry*, 36(1), 41-46. <https://doi.org/10.48044/jauf.2010.006>
- Pérez-Baltazar, I., Báez-Pérez, A. L., Osuna-Vallejo, V., Armendáriz-Arnez, C., y Lindig-Cisneros, R. (2020). Crecimiento de *Fraxinus uhdei* inoculado con dos cepas ectomicorrízicas en dos sustratos, uno contaminado con mercurio. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(2), 455-464. <https://doi.org/10.20937/RICA.53543>
- Ricci, M., Tilbury, L., Daridon, B., & Sukalac, K. (2019). General principles to justify plant biostimulant claims. *Frontiers in Plant Science*, 10, Article 494. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00494>
- Rosier, C. L., Polson, S. W., D'Amico III, V., Kan, J., & Trammell, T. L. E. (2021). Urbanization pressures alter tree rhizosphere microbiomes. *Scientific Reports*, 11, Article 9447. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88839-8>

- Rusterholz, H.-P., Studer, M., Zwahlen, V., & Baur, B. (2020). Plant-mycorrhiza association in urban forests: Effects of the degree of urbanization and forest size on the performance of sycamore (*Acer pseudoplatanus*) saplings. *Urban Forestry & Urban Greening*, 56, Article 126872. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126872>
- Sebastiana, M., Gargallo-Garriga, A., Sardans, J., Pérez-Trujillo, M., Monteiro, F., Figueiredo, A., Maia, M., Nascimento, R., Sousa-Silva, M., Ferreira, A. N., Cordeiro, C., Marques, A. P., Sousa, L., Malhó, R., & Peñuelas, J. (2021). Metabolomics and transcriptomics to decipher molecular mechanisms underlying ectomycorrhizal root colonization of an oak tree. *Scientific Reports*, 11, Article 8576. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87886-5>
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. H., & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>
- Shao, W., Yu, H., Liu, H., Xu, G., Wang, L., Wu, W., Wu, G., & Si, P. (2023). Effects of glucose and mannose on nutrient absorption and fruit quality in peach (*Prunus persica* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23, 1326-1338. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00902-z>
- Shiu, J.-H., Huang, Y.-C., Lu, Z.-T., Jien, S.-H., Wu, M.-L., & Wu, Y.-T. (2022). Biochar-based compost affects bacterial community structure and induces a priming effect on soil organic carbon mineralization. *Processes*, 10(4), Article 682. <https://doi.org/10.3390/pr10040682>
- Shuai, W., Dun, J., Qinghui, M., Mingtao, T., Jiaqi, Z., Xiaoxia, L., Zhaojun, M., & Shanchun, Y. (2021). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on metabolism and chemical defense of *Populus alba* × *P. berolinensis* leaves. *Journal of Beijing Forestry University*, 43(5), 86-92. <http://j.bjfu.edu.cn/en/article/doi/10.12171/j.1000-1522.20200172?viewType=citedby-info>

- Sieverding, E., Alves-da Silva, G., Berndt, R., & Oehl, F. (2014, October-December). *Rhizoglosum*, a new genus of the Glomeraceae. *Mycotaxon*, 129(2), 373-386. <https://doi.org/10.5248/129.373>
- Sun, W., & Shahrajabian, M. H. (2023). The application of arbuscular mycorrhizal fungi as microbial biostimulant, sustainable approaches in modern agriculture. *Plants*, 12(17), 3101. <https://doi.org/10.3390/plants12173101>
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., Kuang, Y., & Wang, N. (2024). Amino acids biostimulants and protein hydrolysates in agricultural sciences. *Plants*, 13(2), Article 210. <https://doi.org/10.3390/plants13020210>
- Tanis, S. R., McCullough, D. G., & Cregg, B. M. (2015). Effects of paclobutrazol and fertilizer on the physiology, growth and biomass allocation of three *Fraxinus* species. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(3), 590-598. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.05.011>
- Tonn, N., & Ibáñez, I. (2017). Plant-mycorrhizal fungi associations along an urbanization gradient: implications for tree seedling survival. *Urban Ecosystems*, 20, 823-837. <https://doi.org/10.1007/s11252-016-0630-5>
- Wang, Y., Chang, Q., Fan, P., & Shi, X. (2022). From urban greenspace to health behaviors: An ecosystem services-mediated perspective. *Environmental Research*, 213, Article 113664. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113664>
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, Article 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
- Zhang, H., Li, L., Ren, W., Zhang, W., Tang, M., & Chen, H. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungal colonization improves growth, photosynthesis, and ROS regulation of split-root poplar under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 44, Article 62. <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03393-8>
- Zhang, P., McDowell, N. G., Zhou, X., Wang, W., Leff, R. T., Pivovarov, A. L., Zhang, H., Chow, P. S., Ward, N. D., Indivero, J., Yabusaki, S. B., Waichler, S., & Bailey, V. L. (2021). Declining carbohydrate content of Sitka-spruce trees dying

from seawater exposure. *Plant physiology*, 185(4), 1682-1696.
<https://doi.org/10.1093/plphys/kiab002>

Zhou, S., Gao, X., Wang, C., Yang, G., Cram, W. J., & He, G. (2009). Identification of sugar signals controlling the nitrate uptake by rice roots using a noninvasive technique. *Zeitschrift für Naturforschung*, 64c, 697-703.
<https://doi.org/10.1515/znc-2009-9-1015>

Zulfiqar, F., Moosa, A., Ali, H. M., Bermejo, N. F., & Munné-Bosch, S. (2024). Biostimulants: A sufficiently effective tool for sustainable agriculture in the era of climate change? *Plant Physiology and Biochemistry*, 211, Article 108699.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108699>

Zwiazek, J. J., Equiza, M. A., Karst, J., Senorans, J., Wartenbe, M., & Calvo-Polanco, M. (2019). Role of urban ectomycorrhizal fungi in improving the tolerance of lodgepole pine (*Pinus contorta*) seedlings to salt stress. *Mycorrhiza*, 29, 303-312.
<https://doi.org/10.1007/s00572-019-00893-3>



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.