

¿Sabías que los Biofertilizantes Promueven la Producción de Antibióticos en el Tejido Vegetal?

Did you Know that Biofertilizers Promote the Production of Antibiotics in Plant Tissue?

Ledea-Rodríguez, José L^{1,2*}, Guevara-Franco, José A², Ruiz-Espinoza, Francisco H³

¹Investigador Posdoctoral por la Secretaría de ciencias, humanidades, tecnología e innovación. Departamento Académico de Ciencia Animal y Conservación del Hábitat. Universidad Autónoma de Baja California Sur. BLVD Forjadores, Colonia Universitario, CP: 23080, La Paz, B.C.S. México.

²Departamento Académico de Ciencia Animal y Conservación del Hábitat. Universidad Autónoma de Baja California Sur. BLVD Forjadores, Colonia Universitario, CP: 23080, La Paz, B.C.S. México.

³Departamento Académico de Agronomía. Universidad Autónoma de Baja California Sur. BLVD Forjadores, Colonia Universitario, CP: 23080, La Paz, B.C.S. México.

Autor para la correspondencia: Ledea-Rodríguez, José L. j.ledea@uabcs.mx

Resumen

El presente artículo, tiene el objetivo de profundizar en los mecanismos teóricos mediante los cuales, biofertilizantes derivados de microalgas estimulan la síntesis de moléculas antibióticas en el tejido vegetal. Los Biofertilizantes, bioestimulantes y otras sustancias de origen orgánico promueven en las plantas efectos benéficos en cuanto al crecimiento, desarrollo, producción y resistencia a fuentes de estrés abiótico o biótico, es un tema, que ha sido estudiado y comprobado en diferentes cultivos en condiciones controladas y en campo. Sin embargo, un aspecto poco mencionado sobre los Biofertilizantes derivados de microalgas radica, en su capacidad para en el tejido vegetal estimular la síntesis de moléculas con propiedades antibióticas. A partir del control de este estímulo, se le podría conferir al tejido vegetal características funcionales, nutraceuticas y/o fitobióticas; que pueden ser útiles no solo para nutrir, también para conservar o recuperar el estado de salud del hombre y animales; de estos últimos en especial a los que están sometidos a constantes estrés por las características intensivas de los sistemas de producción, o por las características edafoclimáticas de ambientes desérticos, áridos y semiáridos en los que se desarrolla la ganadería.

Palabras clave: Microalgas, endo-poligalaturonasa, oligogalacturonida, oligogalacturonidos, oligosacarinas

Abstract

This article aims to explore the theoretical mechanisms by which biofertilizers derived from microalgae stimulate the synthesis of antibiotic molecules in plant tissue. Biofertilizers, biostimulants, and other substances of organic origin promote beneficial effects in plants in terms of growth, development, production, and resistance to abiotic or biotic stress sources. This topic has been studied and tested in different crops under controlled conditions and in the field. However, one aspect of microalgae-derived biofertilizers that is rarely mentioned is their ability to stimulate the synthesis of molecules with antibiotic properties in plant tissue. By controlling this stimulation, plant tissue could be given functional, nutraceutical, and/or phytobiotic characteristics that could be useful not only for nourishment, but also for maintaining or restoring the health of humans and animals, especially for animals that are subjected to constant stress due to the intensive nature of production systems or the soil and climate characteristics of desert, arid, and semi-arid environments where livestock is raised.

Key words: Microalgae, endo-polygalacturonase, oligogalacturonidase, oligogalacturonides, oligosaccharides

DOI 10.46588/invurnus.v20i1.131

Recibido 25/09/2025

Aceptado 25/10/2025

Publicado 01/11/2025

Introducción

Los Biofertilizantes, bioestimulantes y otras sustancias de origen orgánico promueven en las plantas efectos benéficos, es un tema, que ha dado muy buenos resultados en diferentes cultivos en condiciones controladas y aplicaciones piloto a nivel de campo. Lo que define a estas sustancias dentro de un marco legislativo aún no está acordado dentro de la comunidad académica, y aunque se ha avanzado mucho en la comprensión de los efectos que promueven, como el crecimiento y desarrollo de los cultivos, aún se continúan descubriendo nuevos mecanismos que les atribuyen al tejido vegetal nuevas propiedades, que pueden resultar en características nutraceuticas, funcionales o fitobióticas.

Dentro de la amplia variedad de orígenes de Biofertilizantes desarrollados hasta la fecha con sus respectivas particularidades y efectos sobre las plantas, los obtenidos a partir de extractos de microalgas tienen una importante distinción respecto al resto de los Biofertilizantes. Estos promueven la producción de moléculas con propiedades antibióticas a nivel celular, con la capacidad de proteger a la célula del ataque de especies reactivas al oxígeno, radicales libres o moléculas provenientes de patógenos. Estas moléculas antibióticas, también pueden inducir la destrucción celular cuando la célula está muy afectada para cumplir con su función biológica.

El presente artículo tiene el objetivo de profundizar en los mecanismos teóricos mediante los cuales, biofertilizantes derivados de microalgas estimulan la síntesis de moléculas antibióticas en el tejido vegetal.

Biofertilizantes. Historia resumida

La definición de Biofertilizantes ha evolucionado conforme al desarrollo de la ciencia y la técnica. En 1997 se consideró “Material que en mínimas cantidades promueve el crecimiento de las plantas” (Zhang and Schmidt 1999), y en 2000 lo señalaron como un producto que contenía hormonas (Zhang et al., 2003). En 2007 se pensó como un material distinto a los fertilizantes que promovía el crecimiento de las plantas cuando era aplicado en pequeñas cantidades (Kauffman et al., 2007).

Basak, (2008) propuso que se clasificaran de acuerdo con el modo de acción y estructura del ingrediente activo, y estuvo redundando de 2009-2014 el entendido de que eran materiales que contenían una o más sustancias y/o microorganismos capaces de estimular la absorción de nutrientes, incrementar la tolerancia al estrés abiótico y biótico, y mejorar la calidad de los cultivos cuando se aplicaba en pequeñas cantidades (de Vasconcelos et al., 2009).

Años más tarde, du Jardin, (2015) mencionó que cualquier definición relacionado con los Biofertilizantes debería referirse a las funciones agrícolas, es decir, a la mejora del rendimiento o calidad de la planta, y/o al incremento en la eficiencia del crecimiento y productividad, y no en la naturaleza química de sus constituyentes ni a sus modos de acción, coincidiendo con lo planteado en ese mismo año por Bulgari et al., (2015), quienes expresaron que la clasificación de los Biofertilizantes, debería estar de acuerdo con la acción fisiológica que ejercen en las plantas más que en su composición.

En 2018, el Consejo Europeo de la Industria de Biofertilizantes (EBIC) lo definió como: “Sustancia o microorganismo que al aplicarse a la planta o a la rizosfera, estimula procesos naturales para incrementar o beneficiar la absorción de nutrientes, así como la eficiencia y tolerancia de la planta al estrés abiótico”. Mientras que en Estados Unidos la Coalición de Empresas Bioestimulantes (USBC, siglas en inglés) lo



denominaron “Sustancia o microorganismo que, cuando es aplicado a la planta, semilla, suelo o algún otro sustrato de crecimiento, puede incrementar la habilidad de la planta para asimilar nutrientes y promover beneficios”.

En contexto, México no posee, ni están implementados procedimientos para el registro de productos bajo la denominación de Biofertilizantes (Nolasco-Bethencourt 2017); similitud que guarda con muchos países de la Unión Europea, donde, son registrados como fertilizantes o reguladores del crecimiento (Malik et al., 2021).

Trazas de conceptos modernizados

A continuación, se ofrecen tres últimas definiciones para cerrar la línea de tiempo con relación al término Biofertilizante. Según Chanda et al., (2019) son aquellos materiales que contienen microorganismos o sustancias cuya función al aplicarlas vía foliar o sobre la rizosfera de las plantas, estimulan mecanismos naturales para mejorar el crecimiento de estas, entre los que se destacan la eficiencia en el uso de nutrientes, tolerancia a factores bióticos y abióticos e incremento de la calidad del cultivo mediante la producción de moléculas bioactivas.

Una definición más actualizada expone que se deben considerar Biofertilizantes, “Aquellos productos de origen biológico, formulados a partir de las propiedades novedosas o emergentes del complejo de constituyentes, y no como consecuencia única de la presencia de nutrientes vegetales esenciales, conocidos por ser reguladores del crecimiento o compuestos protectores de las plantas” (Yakhin et al., 2020).

Al respecto, Nephali et al., (2020) señalaron como Biofertilizante: “Producto con un grupo de sustancias nutritivas o microorganismos con capacidad para promover el crecimiento de las plantas y su salud, reconociendo que falta una base biológica para postular con precisión sobre los mecanismos de acción en la planta, y lograr comprender la interacción bioestimulante-planta desde el punto de vista molecular, celular y fisiológico”.

Considerando que el principio de la acción biológica de los Biofertilizantes se desarrolla, según, a partir de moléculas o mezclas de estas, para las que aún no se define un modo de acción definido, se considera necesario entonces que, todo enfoque de investigación reconozca un mecanismo amplio de acción, hasta tanto se describa algún modo de acción específico. Desde la referencia de los diferentes conceptos, los Biofertilizantes se han clasificado en diferentes categorías para su estudio, señalándose sus constituyentes y contribución en la fisiología, crecimiento, desarrollo, perfil bioquímico, y enzimático de los cultivos. En la tabla 1 se presenta de manera resumida la información comentada en supra líneas.

Tabla 1. Categorías de biofertilizantes

Categoría	Denominación	Constituyentes	Efectos en las plantas	Referencia
Sustancias húmicas (HS, siglas en inglés)	Ácidos húmicos	Huminas, ácidos fúlvicos y húmicos	• Mejora de la nutrición radicular • Aumento de la absorción de macro y micronutrientes • Estimulación de las H-ATPasas de membrana plasmática • HS de alta masa molecular mejora la actividad de las enzimas relacionadas con la síntesis de compuestos fenólicos	(Jardin, 2015) (Canellas et al., 2019)
	Ácidos fúlvicos			
Proteínas hidrolizadas y compuestos de Nitrógeno	aminoácidos	Aminoácidos, péptidos y proteínas	• Modulación de la absorción y asimilación de N	(Colla et al., 2017) (Moreno-Hernández et al., 2020)
	Péptidos (no más de 10 aa)		• Estimulan actividades hormonales	
	Poliaminas		• Actividad antioxidante	
	Betaína		• Aumenta la biomasa y la actividad microbiana, y respiración del suelo	
Quitosano y otros polímeros	Quitosano	Forma desacetilada de la quitina, oligómeros y laminarina	✓ Capacidad para unirse a componentes celulares (ADN, membrana plasmática y constituyentes de la pared celular)	(Katiyar et al., 2015) (Shahrajabian et al., 2021)
			✓ Capacidad de unión a receptores específicos involucrados en la activación de genes de defensa y elicitores de defensa de las plantas	
	Quitina		✓ Regulador en la síntesis de compuestos secundarios en el tejido vegetal.	
	Quitano			

Biofertilizante derivados de microalgas

Dentro del grupo de las microalgas que se han estudiado, destacan las macro y las microalgas de origen marino, y las microalgas de agua dulce, conocidas también como microalgas dulceacuícolas entre las que se encuentran la *Spirulina* spp y *Chlorella* spp como las más utilizadas como biofertilizantes.

Las macro y microalgas independientemente de su origen aportan minerales y compuestos orgánicos-nutritivos a las plantas, pueden aplicarse en suspensión (en forma de cultivos) o deshidratadas mediante liofilización en forma de harinas. Al aplicarlas a las plantas, estas no se asocian a las raíces como las bacterias u hongos, si no, que liberan las sustancia nutritivas contenidas en la célula cuando se produce la apoptosis celular.

De esta manera las plantas hacen uso de los elementos liberados como, fuentes de carbono, nitrógeno, minerales, entre otros, beneficiando el crecimiento y desarrollo de órganos en plantas vasculares. También existe una actividad más que promueven estos microorganismos, se trata de la producción de antibióticos en el tejido vegetal.

Mecanismos de acción de los extractos de microalgas

Los responsables de que se exprese las plantas, la Respuesta Sistémica Inducida (SRI, siglas en inglés) son los constituyentes de la pared celular de las microalgas, en este caso polisacáridos. Estas moléculas químicas están presentes en todas las células del reino vegetal.



Los polisacáridos de las microalgas están constituidos por hetero polímeros de galactosa, xilosa, y glucosa en diferentes proporciones, unidos mediante enlaces glicosídicos. También se menciona la ramnosa, fucosa, fructuosa y azúcares metílicos como constituyentes (de Jesus Raposo et al., 2014). Las diferentes proporciones de azúcares, peso molecular y grado de sulfatación van a definir su efecto como inductor específico del mecanismo de defensa de la planta (Chanda et al., 2019), aunque también se atribuyen al contenido de ácido urónico (Farid et al., 2019), sin embargo, la relación entre la estructura molecular de los polisacáridos y su actividad en la expresión de la SRI no está completamente comprendida.

Otros constituyentes de la pared celular de las microalgas son los sacáridos (oligosacarinas). Estos se han identificado como promotores en la activación de la SRI en las plantas (Albersheim y Darvill, 1985), estos compuestos de gran diversidad química están presentes en la pared celular de todas las células vegetales (oligosacarinas endógenas), al igual que en la pared celular de microorganismos, patógenos y no patógenos (oligosacarinas exógenas) (Reyes-Pérez et al., 2021). De los grupos más estudiados de las oligosacarinas endógenas se relacionan los oligopectatos y oligogalacturónidos (OGAs), estos son miembros de una nueva clase de sustancias bioactivas que están presentes en el reino vegetal, constituidos por poli y oligosacáridos de diferentes orígenes (Reyes-Pérez et al., 2021).

Se considera que los mecanismos moleculares mediante los cuales estos polisacáridos pueden mediar el crecimiento, desarrollo y defensa de las plantas, se basan aunque no está totalmente comprendido, en la modulación de procesos metabólicos como la fotosíntesis, fijación de nitrógeno y azufre (Chanda et al., 2019), la cual está moderada por compuestos despolimerizados (oligoalginatos) de la pared celular de algas pardas, microalgas verdes y azules, y oligocarragenano derivado del carageenans presentes en algas rojas, que al interactuar con la membrana plasmática se activa un co-receptor destinado a la transducción de señales, que conduce a la activación simultánea de los patrones de reconocimiento molecular (PRM) en la planta (González et al., 2013).

Mientras que la intervención de los constituyentes (polisacáridos) en el sistema de defensa de la planta, se basa en la producción/liberación de OGAs de diferentes características y constituyentes. Se informó por Albersheim y Darvill, (1985) que la respuesta defensiva de las plantas se basa en la producción/reconocimiento de estos compuestos, de esta manera identificaron en la pared celular de un hongo patógeno un oligosacárido fragmentado de un polisacárido estructural, el cual originó la síntesis de enzimas que catalizaron el proceso de producción de antibióticos, así mismo, comentan que para infecciones bacterianas, éstas son capaces de liberar enzimas, que a su vez, libera oligogalacturonidas de la pared celular vegetal y como respuesta se desencadena la producción de antibióticos. También se considera como mecanismo empleado por la propia planta para provocar la apoptosis celular cuando éstas están infectadas o en proceso de necrosis.

Estos autores comprobaron que era posible una sinergia entre la producción de heptaglucósido por parte de un patógeno y la oligogalacturonida de la planta, la cual potencia la producción de antibiótico. También demostraron que se activa la producción de enzimas (proteinasas) utilizadas por las plantas ante el ataque de insectos, a partir de una oligosacarina, demostrándose posteriormente que una oligogalacturonida que estimula la síntesis de proteinasa es similar a otra descrita en uno de sus estudios y que estimula la síntesis de antibióticos. Se consideran tres mecanismos mediante los cuales los OGAs pueden inducir la síntesis de antibióticos (Figura 1).

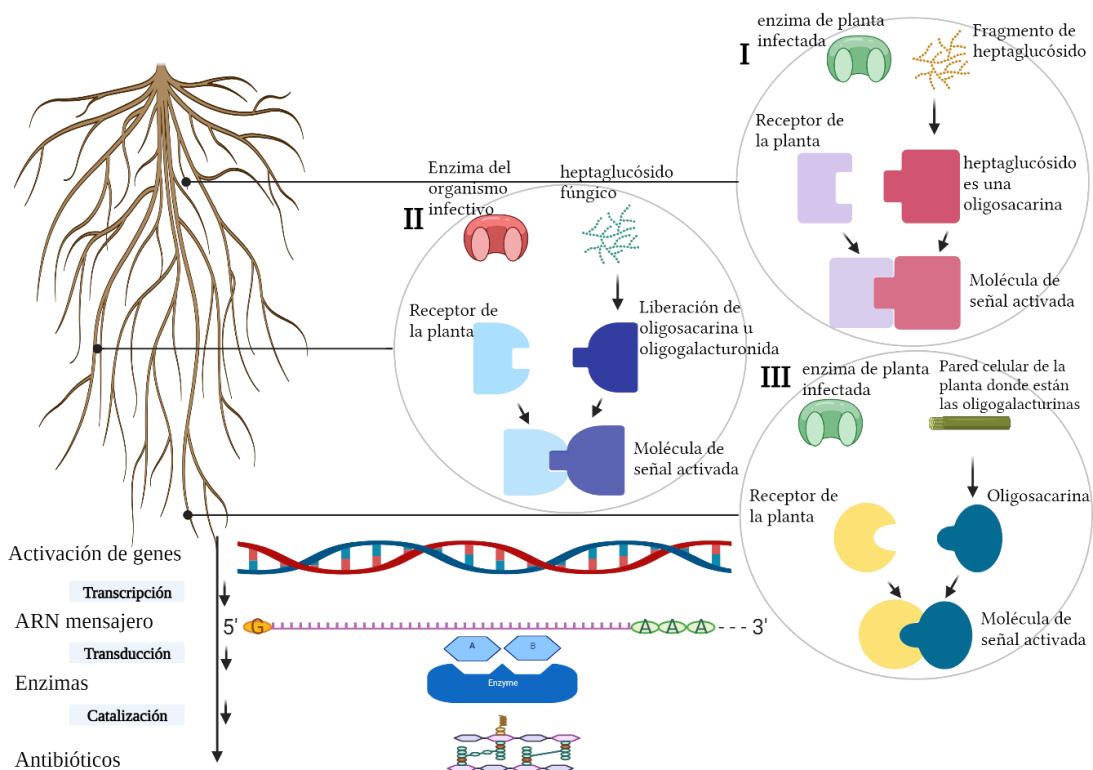


Figura 1. Mecanismos de acción hipotéticos de los OGA para inducir la síntesis de antibióticos. (Modificado de Albersheim y Darvill, (1985)). I) Activación por una enzima de la planta infectada, II) El organismo suministra la enzima que activa las enzimas de la planta infectada, III) La propia planta activa mediante enzimas las oligogalacturonida en sus propias paredes celulares.

Las tres alternativas de procesos de infección comparten como rutas comunes, la intervención de una oligosacarina que tiene la capacidad de activar enzimas, que conllevan a la expresión de genes; y estos transducen la señal mediante mRNA'S para activar nuevas enzimas, que catalizan la producción de antibióticos como mecanismo de defensa celular.

En este sentido, Albersheim et al., (1992) añadieron que los polisacáridos activos de la pared celular de algas, en específico oligogalacturonida y OGA, son similares a los generados por los patógenos, identificadas como endo-poligalaturonasa (EPG, siglas en inglés), además de ácido endopoligalaturónico que libera fragmentos de OGA de las paredes de la célula vegetal, estos fragmentos generan vías de defensas en las plantas que involucra la producción de fitoalexinas, proteinasas, quitinasas, 1,3-glucanasas y lignina, mientras que los OGA promueven la producción de proteinasas, mecanismo similar al descrito en la figura 1. Asimismo, estos autores determinaron que, polimerizaciones de OGA entre 10-15 provocan reacciones de defensa, mientras que polimerización entre 2-20 han inducido en cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*) producción de proteinasa. Este requisito de polimerización y sus funciones no ha podido explicarse aún.

Conclusiones

Urge lograr un consenso por parte de las autoridades regulatorias internacionales sobre lo que se considera un Biofertilizantes, ya que, con el logro del registro, su uso, comercio y aplicación directamente en campo



será mayor. En cuanto a las aplicaciones de los extractos de microalgas, aún quedan estudios por desarrollar en condiciones controladas que tributen a la información existente que permitan comprender con mayor detalle los mecanismos involucrados y su forma de acción, sobre todo los relacionados con la síntesis de moléculas de tipo antibiótico, en aras de producir alimentos funcionales, nutraceuticos y/o fitobióticos, para que, a la vez que se nutre también se contribuya a la recuperación o preservación de la salud.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaria de ciencias, humanidades, tecnología e innovación (Sechiti), por el apoyo brindado mediante Estancias Posdoctorales por México, convocatoria 2022-3.

Referencias

1. Albersheim, P., Al AN, D., Augur, Ch., Cheong, J.J., Eberhard, S., Hahn, M.G., Marfa, V. 1992. "Oligosaccharins: Oligosaccharide Regulatory Molecules." *Acco. of Chem. R.* 25 (2): 77–83. <https://doi.org/10.1021/ar00014a004>
2. Albersheim, P and Darvill, A.G. 1985. "Oligosaccharins." *Sc. Am.* 253 (3): 58–65. <https://www.jstor.org/stable/10.2307/24967788>
3. Amani, M., Mostafa, A.J, Reyhaneh, H.M., and Amir, S. 2022. "Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Changes in Primary and Secondary Metabolites." *Plants* 11 (17). <https://doi.org/10.3390/plants11172183>
4. Angulo-Castro, A., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Almaraz-Suárez, J.J., Delgadillo-Martínez, J., Jiménez-Fernández, M and García-Barradas, O. 2018. "Growth and Photochemical Efficiency of Photosystem II in Seedlings of Two Varieties of *Capsicum Annuum* L. Inoculated with Rhizobacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi." *Rev. Arg. de Microb.* 50 (2): 178–88. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.011>
5. Barros, V., Frosi, G., Santos, M., Gomes Ramos, D., Marinho Falcão, H and Guida Santos, M. 2018. "Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improve Photosynthetic Energy Use Efficiency and Decrease Foliar Construction Cost under Recurrent Water Deficit in Woody Evergreen Species." *Plant Phys. and Biochem.* 127 (April): 469–77. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.04.016>
6. Basak, A. 2008. "Biostimulants_definition, Classifications and Legislation." In *Biostimulants in Morden Agriculture, General Aspects.*, edited by G Helena, Warsaw, 7–17. Warsaw: Warsaw.
7. Bulgari, R.G., Cocetta, A., Trivellini, P., Vernieri and Ferrante, A. 2015. "Biostimulants and Crop Responses: A Review." *Biol. Agric. and Hort.* 31 (1): 1–17. <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.964649>
8. Canellas, L.P., Fábio, L.O, Natália, O.A., Canellas, P.M and Alessandro, P. 2019. "Humic Acids Increase the Maize Seedlings Exudation Yield." *Chem. and Biol. Techn. in Agric.* 6 (1): 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0139-7>
9. Carvalho, M.E.A., de Camargo E Castro, P.R., Aparecida Gaziola, S and Antunes Azevedo, R. 2018. "Is Seaweed Extract an Elicitor Compound? Changing Proline Content in Drought-Stressed Bean Plants." *Comun. Scien.* 9 (2). <https://doi.org/10.14295/CS.v9i2.2134>
10. Chanda, M.J., Nawal M and Hicham A. 2019. "Microalgae Polysaccharides: The New Sustainable Bioactive Products for the Development of Plant Bio-Stimulants?" *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 35 (11): 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2745-3>
11. Chiquito-Contreras, R.G., Solis-Palacios, R., Reyes-Pérez, J.J., Murillo-Amador, B., Alejandro-Rosas, J and Hernández-Montiel, LG. 2019. "Promoción del crecimiento de plantas de albahaca utilizando hongos micorrízicos arbusculares y una bacteria marina." *Acta Universitaria* 28 (6): 68–76. <https://doi.org/10.15174/au.2018.2086>

12. Colla, G., Lori, H., M, R., Mariateresa, C., Bonini, P., Canaguier, R and Rouphael, Y. 2017. "Biostimulant action of protein hydrolysates: unraveling their effects on plant physiology and microbiome." *Frontiers in Plant Science* 8 (December): 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02202>
13. Corato, U., de Bari, I., Viola, E and Pugliese, M. 2018. "Assessing the Main Opportunities of Integrated biorefining from Agro-Bioenergy Co/by-products and agroindustrial residues into high-value added Products Associated to Some Emerging Markets: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.041>
14. Crespo-Flores, G, Ramírez-Tobias, HM., Moisés, R., Vallejo-Pérez, RM., Méndez-Cortéz, H and González-Cañizares, PJ. 2022. "Inoculación con rizobios y hongos micorrízicos arbusculares en plantas de *Leucaena Leucocephala* en etapa de vivero y en sustrato con pH neutro." *Tropical Grasslands* 10 (2): 98–108. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(10\)98-108](https://doi.org/10.17138/TGFT(10)98-108)
15. Dineshkumar, R.A., Ahamed Rasheeq, A., Arumugam, K.S., Nathiga, N and Sampathkumar, P. 2019. "Marine microalgal extracts on cultivable crops as a considerable Bio-Fertilizer: A Review." *Indian Journal of Traditional Knowledge* 18 (4): 849-854. <http://op.niscpr.res.in/index.php/IJTK/article/viewFile/29031/465477258>
16. Ertani, A., Michela Schiavon, A.M and Serenella, N. 2013. "Alfalfa plant-derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed *Zea mays* L. Plants." *Plant and Soil* 364 (1–2). <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1335-z>
17. Faizan, M., Ahmad, F., Fareen, S., Husna, S., Mohammad, Y., Gruszka, D and Shamsul, H. 2020. "Role of Strigolactones: Signalling and crosstalk with other phytohormones." *Open Life Sciences*. <https://doi.org/10.1515/biol-2020-0022>
18. Farid, R., Chanda Mutale, J., Benhima Redouane, El M.N, Aasfar Abderahime, S.L and El Arroussi, H. 2019. "Effect of Microalgae polysaccharides on biochemical and metabolomics pathways related to plant defense in *Solanum Lycopersicum*." *Applied Biochemistry and Biotechnology* 188 (1): 225–40. <https://doi.org/10.1007/s12010-018-2916-y>
19. González, A., Castro, J., Vera, J and Moenne, A. 2013. "Seaweed oligosaccharides stimulate plant growth by enhancing carbon and nitrogen assimilation, basal metabolism, and cell division." *Journal of Plant Growth Regulation* 32 (2): 443–48. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9309-1>
20. Jardin, du P. 2015a. "Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation." *Scientia Horticulturae* 196: 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
21. Raposo, J., Miranda-Bernardo, AM and Costa de Moraes, R.M.S. 2014. *Bioactivity and Applications of Polysaccharides from Marine Microalgae. Polysaccharides*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-03751-6_47-1
22. Kalsoom, M., Fazal, U.R, Talha, S., Sanwal, J., Nimra, K., Muhammad A., Irfan, Z. et al. 2020. "Biological importance of microbes in agriculture, food and pharmaceutical industry: A Review." *Innovare Journal of Life Sciences*. <https://doi.org/10.22159/ijls.2020.v8i6.39845>
23. Katiyar, D., Hemantaranjan, A Bharti, S. 2015. "Chitosan as a Promising Natural Compound to Enhance Potential Physiological Responses in Plant: A Review." *Indian Journal of Plant Physiology* 20 (1): 1–9. <https://doi.org/10.1007/s40502-015-0139-6>
24. Kauffman, G.L., Daniel, P.K., and Watschke, T.L. 2007. "Effects of a Biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass." *Crop Science* 47 (1). <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.03.0171>
25. Kulkarni, M.G., Kannan R.R., Rengasamy, S.C., Pendota, J.G., Lenka, P., Novák, A., Doležal, K and van Staden, J. 2019. "Bioactive molecules derived from Smoke and Seaweed *Ecklonia maxima* showing phytohormone-like activity in *Spinacia oleracea* L." *New Biotechnology* 48. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2018.08.004>



26. Malik, A., Virender, S., Mor, J.T., Himani, P., Shweta, M., Kamla, M., Sonali, S., et al. 2021. "Biostimulant-treated seedlings under sustainable agriculture: A global perspective facing climate change." *Agronomy* 11 (1): 1–24. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010014>
27. Moreno-Hernández, J.M., Benítez-García, I., Miguel, A., Mazorra-Manzano, J.C., Ramírez-Suárez, A and Esteban Sánchez, J. 2020. "Strategies for production, characterization and application of protein-based biostimulants in agriculture: A Review." *Chilean Journal of Agricultural Research* 80 (2): 274–89. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000200274>
28. Nepthali, L., Lizelle, A., Piater, I., Dubery, A., Veronica, P., Huyser, J., Karl, B and Tugizimana F. 2020. "Biostimulants for plant growth and mitigation of abiotic stresses: A metabolomics perspective." *Metabolites* 10 (12): 1–26. <https://doi.org/10.3390/metabo10120505>
29. Nolasco-Bethencourt, J. 2017. "Bioestimulación: Rompiendo Paradigmas Que Limitan La Producción Agrícola." Tradecorp México (Video de Youtube). 2017. https://www.youtube.com/watch?v=str4IW2z0_8
30. Pradhan, B., Prajna-Paramita, B., Srimanta, P., Rabindra, N., Pradyota-Kumar, B., Chhandashree, B, Akshaya-Kumar, B., Jang-Seu, K Mrutyunjay, Jena. 2022. "Beneficial effects of seaweeds and seaweed-derived bioactive compounds: Current evidence and future prospective." *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102242>
31. Puglia, D., Pezzolla, P., Gigliotti, G., Torre, T., Bartucca, M.L and del Buono, D. 2021. "The opportunity of valorizing agricultural waste, through its conversion into biostimulants, biofertilizers, and biopolymers." *Sustainability (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/su13052710>
32. Rakkammal, K., Theivanayagam, M., Stanislaus, A.C., and Manikandan, R. 2022. "Biostimulants and their role in improving plant growth under drought and salinity." *Cereal Research Communications*, no. 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s42976-022-00299-6>
33. Reyes-Pérez, J.J., Rommel-Arturo, R.R., Llerena-Ramos, L.T., Ramírez-Arrebato, M.A and Falcón-Rodríguez, A.B. 2021. "Potentialities of oligogalacturonides and chitosaccharides on plant rooting." *Terra Latinoamericana* 39: 1–9. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.846>
34. Shahrajabian, M.H., Christina, Ch., Nikolaos, P., Nikolaos, T and Spyridon A. 2021. "Sustainable agriculture systems in vegetable production using chitin and chitosan as plant biostimulants." *Biomolecules* 11 (6): 1–18. <https://doi.org/10.3390/biom11060819>
35. Vasconcelos, A.C.Feitosa de., Xunzhong, Z., Erik, H.E and de Castro Kiehl, J.. 2009. "Enzymatic antioxidant responses to biostimulants in maize and Soybean subjected to drought." *Scientia Agrícola* 66 (3). <https://doi.org/10.1590/s0103-90162009000300015>
36. Yakhin, O.I., Lubyanov, A.A., Yakhin, I.A and Brown, P.H. 2020. "Biostimulants in plant science: A global perspective." *Frontiers in Plant Science* 10 (12): 1–26. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
37. Zayed, M.S. 2012. "Improvement of growth and nutritional quality of *Moringa oleifera* using different biofertilizers." *Annals of Agricultural Sciences* 57 (1): 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2012.03.004>
38. Zhang, X and Schmidt, R. E. 1999. "Antioxidant response to hormone-containing product in Kentucky bluegrass subjected to drought." *Crop Science* 39 (2). <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X003900020040x>
39. Zheng, W., Saiqi, Z., Harsh, B., LaManna, J.M., Hussey, D.S., Jacobson, D.L and Yan Jin. 2018. "Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) reduce evaporation and increase soil water retention." *Water Resources Research* 54 (5): 3673–87. <https://doi.org/10.1029/2018WR022656>