



Bioestimulación vegetal mediante elementos minerales benéficos y su papel en la respuesta al estrés

Carlos Alberto Gabriel Zunun^{1*}
Jose Antonio González Fuentes²
Daniela Rodríguez Luna¹

¹Doctorado en Agricultura Protegida. Subdirección de Postgrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura Buenavista, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. C.P. 25350.

*Autor de correspondencia: tics41133109@outlook.com

Introducción

Las plantas aparecieron hace unos 500 millones de años, a partir de algas que lograron adaptarse al ambiente terrestre (Figura 1). Gracias a este acontecimiento, comenzaron a desarrollarse nuevas formas de vida, pues las plantas fueron las responsables de producir oxígeno y de dar origen a los ecosistemas que

existen en la actualidad. Lo anterior toma relevancia dado que las plantas esconden una compleja maquinaria biológica y/o metabolismo que depende de la combinación de varios factores como el suelo, el clima, la radiación, elementos minerales esenciales, entre otros (edafoclimáticos); los cuales son necesarios para crecer, desarrollarse, sobrevivir y multiplicarse.

Sin embargo, las plantas se enfrentan de manera constante a distintos tipos de estrés que desestabilizan su funcionamiento fisiológico y metabólico, repercutiendo en el crecimiento, el desarrollo y la acumulación de biomasa. En las últimas décadas, estas condiciones se han agravado por el cambio climático, el cual impacta severamente a los sistemas

de producción al incrementar la intensidad y frecuencia de estreses abióticos como sequía, salinidad en los suelos, temperaturas extremas e irregularidad de las lluvias y bióticos como patógenos, insectos, plantas parásitas, malezas y herbívoros, lo que pone en riesgo la estabilidad, la productividad y la sostenibilidad de los agroecosistemas.

El estrés en plantas es un factor que afecta su productividad la cual cae de forma notable



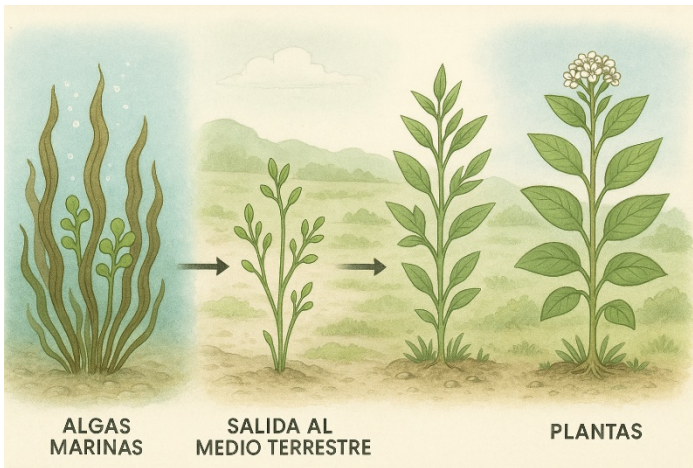


Figura 1. Representación de la evolución de las plantas

Para lograr una agricultura más sostenible y eficiente es fundamental adoptar e implementar nuevas tecnologías y métodos de producción que favorezcan el equilibrio entre rendimiento y conservación ambiental. En este contexto, la bioestimulación se ha consolidado como una herramienta eficaz para mejorar la productividad de los cultivos, ya que contribuye a

fortalecer las plantas frente a condiciones adversas. Además, en los últimos años la bioestimulación ha cobrado gran importancia gracias a la incorporación de elementos benéficos los cuales mejoran la eficiencia en el uso de nutrientes y refuerzan su tolerancia frente al estrés biótico y abiótico, contribuyendo así a una producción agrícola más resiliente y sostenible.

Para adentrarnos en este tema, primero necesitamos entender cuatro conceptos clave: qué es el estrés en las plantas, qué es la bioestimulación, qué es un elemento esencial y que es un elemento benéfico. Así que acompáñame en esta lectura y descubramos juntos cómo funcionan estos procesos que pueden transformar el rendimiento de un cultivo.

¿Qué es el estrés?

El estrés en las plantas se presenta cuando alguna condición del entorno o del propio organismo altera su crecimiento y funcionamiento normal. En otras palabras, sucede cuando algo interfiere con la fotosíntesis, el proceso mediante el cual las plantas aprovechan la luz solar para producir la energía que necesitan para desarrollarse.

Hay dos tipos: Estrés abiótico y biótico

El estrés abiótico se origina a raíz de varios factores ambientales (irradiación, sequía, temperaturas extremas, salinidad, metales pesados, entre otros) los cuales como consecuencia afectan el buen funcionamiento de las células de las plantas. Se estima que el 50% de las pérdidas de los cultivos en sistemas agrícolas en el planeta son debidas a este tipo de estrés.





Por consecuencia, en el mundo, el 95% de la superficie agrícola se ve afectada por este problema, lo cual ha ido en aumento a raíz del cambio climático debido a cambios en la temperatura, sobrepoblación, incendios, etc. El estrés biótico en las plantas es causado por la acción de organismos vivos que afectan su desarrollo y funcionamiento, los cuales son patógenos (hongos, bacterias, virus, etc.), insectos y ácaros (mosquita blanca, trips, chapulines, gusanos, araña roja, acaro blanco, etc.), plantas parásitas, malezas y animales herbívoros. Este tipo de estrés desencadena mecanismos de defensa destinados a preservar su estructura y garantizar su supervivencia. Entre los agentes más comunes se encuentran los hongos como *Fusarium*, *Botrytis* y *Alternaria* que provocan marchitez, pudriciones o manchas foliares; las bacterias *Pseudomonas*, *Xanthomonas* y *Erwinia*, que generan necrosis y pudriciones blandas; y los virus, como el mosaico amarillo de la calabaza (ZYMV) y el mosaico del tabaco (TMV), que deforman las hojas y reducen la fotosíntesis. También contribuyen a este tipo de estrés las plagas insectos como áfidos, trips o mosca blanca, además de ácaros y nematodos que dañan los tejidos o transmiten enfermedades, así como las malezas, que compiten con las plantas por agua, luz y nutrientes (Figura 2).

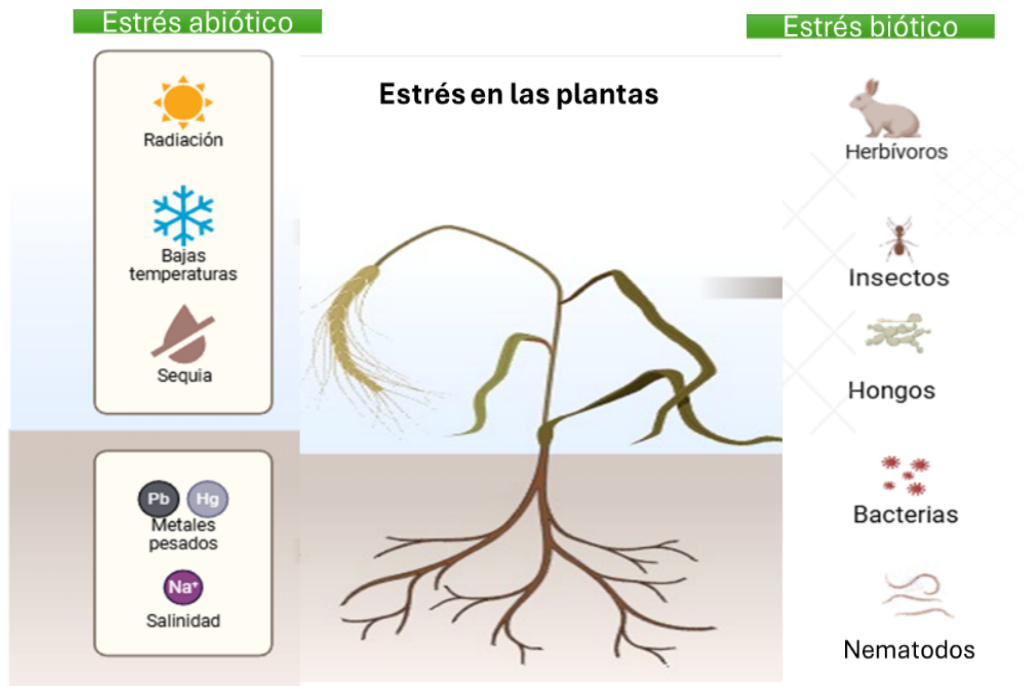


Figura 2. Principales factores que determinan el estrés biótico y abiótico en las plantas.



La bioestimulación en las plantas

La bioestimulación consiste en darle a las plantas un impulso extra para favorecer su desarrollo. A diferencia de los fertilizantes, cuyo propósito principal es suministrar nutrientes, los bioestimulantes actúan modulando procesos fisiológicos naturales de la planta, permitiéndole utilizar con mayor eficacia los recursos disponibles, optimizar la absorción y el aprovechamiento de nutrientes, se incrementa la tolerancia al estrés abiótico y se promueve el crecimiento y desarrollo vegetal sin aumentar la carga nutrimental del suelo. Gracias a ello, las plantas crecen con mayor vigor, resisten mejor las condiciones adversas y alcanzan un rendimiento más saludable y productivo (Figura 3).

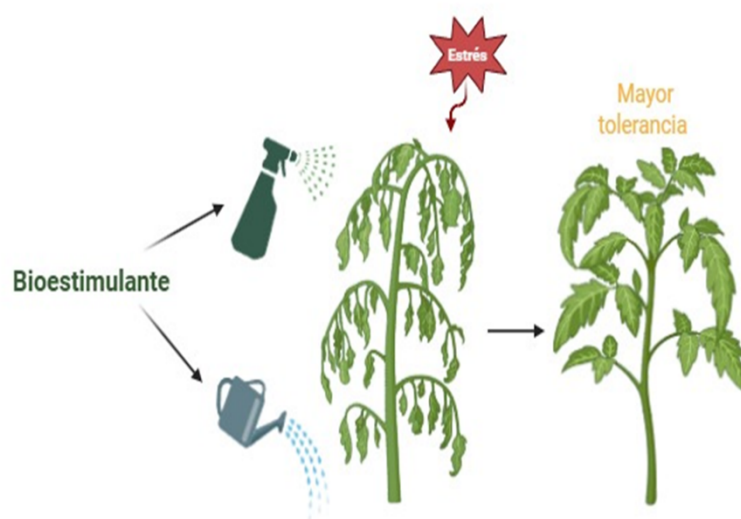


Figura 3. La aplicación de bioestimulantes en el sustrato o vía foliar induce resistencia al estrés en las plantas.

Tipos de bioestimulantes

En el mercado de bioestimulantes, las categorías con mayor uso se concentran, en primer lugar, en las fitohomonas y, desde el punto de vista nutrimental, las sustancias húmicas y fúlvicas, seguidas por proteínas, aminoácidos y péptidos, y por extractos de algas. En un nivel de adopción también relevante se encuentran los microorganismos benéficos (bacterias y hongos), mientras que, con una participación menor pero en crecimiento, se incluyen las sustancias inorgánicas o elementos minerales benéficos y los extractos botánicos. En términos generales, estos productos no actúan como fertilizantes, sino que modulan procesos fisiológicos y metabólicos de la planta, favoreciendo un mejor aprovechamiento de recursos (Figura 4).

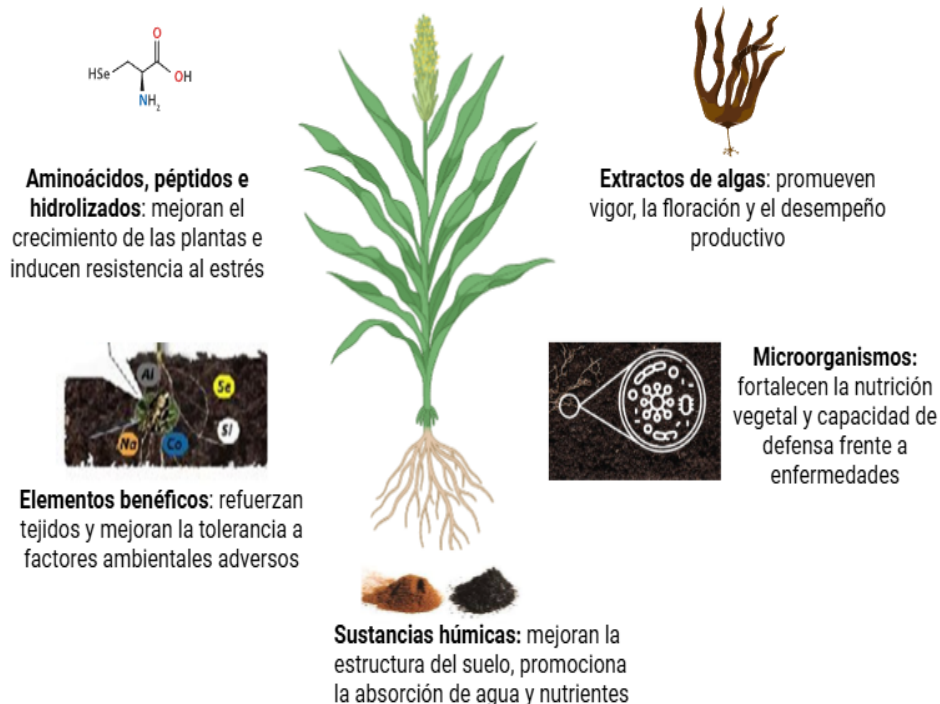


Figura 4. Clasificación de bioestimulantes y principales beneficios agronómicos en cultivos.

Más allá de lo esencial: Elementos benéficos

Las plantas necesitan 17 elementos esenciales para crecer y completar su ciclo de vida. Algunos, llamados macronutrientes, se requieren en grandes cantidades y permiten que la planta forme raíces, hojas y obtenga energía. Otros, los micronutrientes, aunque se necesitan en pequeñas dosis, son clave para activar procesos internos, producir pigmentos y ayudar a la planta a defenderse del estrés ambiental.

Los elementos benéficos son elementos minerales que, a diferencia de los nutrientes esenciales, no cumplen el criterio de “indispensables” (la planta puede completar su ciclo de vida sin ellos). Aun así, cuando están presentes en dosis adecuadas y en determinadas condiciones mejoran el desempeño de la planta: aumentan el vigor, optimizan el uso de nutrientes y ayudan a tolerar mejor el estrés.

¿Por qué “van más allá de lo esencial”?

Porque los nutrientes esenciales (N, P, K, Ca, Mg, S y los micronutrientes como Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo, Cl, Ni) son obligatorios para crecer y reproducirse. En cambio, los benéficos actúan como “potenciadores”: no evitan que la planta viva si faltan, pero sí pueden marcar una diferencia importante en productividad y resiliencia, sobre todo bajo estrés (sequía, salinidad, calor/frío, toxicidades, presión de plagas/enfermedades).





La agricultura moderna enfrenta un reto constante dado que muchos cultivos siguen produciendo por debajo de su potencial porque todavía no entendemos del todo cómo manejarlos o cómo protegerlos del estrés. ¡Pero hay una buena noticia! los elementos benéficos, aunque las plantas no los necesitan para sobrevivir, pueden actuar como verdaderos impulsores ocultos del crecimiento.

En un escenario donde el cambio climático y la degradación del suelo incrementan la frecuencia e intensidad del estrés vegetal, la bioestimulación con elementos minerales benéficos se plantea como una herramienta complementaria para mejorar el desempeño de los cultivos. A diferencia de los fertilizantes orientados principalmente al suministro de nutrientes, estos elementos se aplican en bajas dosis y actúan modulando procesos fisiológicos y metabólicos que optimizan el funcionamiento de la planta.



La evidencia disponible indica que, bajo esquemas de manejo adecuados, su aplicación puede asociarse con mejoras en crecimiento, rendimiento y eficiencia fotosintética, además de una disminución del daño por estrés oxidativo. En términos generales, esto se refleja en plantas más vigorosas, con mejor mantenimiento de pigmentos fotosintéticos, mayor integridad estructural y una utilización más eficiente de los recursos del suelo. Un efecto relevante de esta bioestimulación es el fortalecimiento de los mecanismos de defensa. Las plantas tratadas suelen presentar mayor tolerancia ante condiciones adversas como sequía, salinidad, temperaturas extremas y, en algunos casos, una mejor respuesta frente a patógenos, contribuyendo a sistemas de producción más estables bajo ambientes restrictivos. Asimismo, se ha observado influencia positiva en etapas clave del desarrollo, como el establecimiento, la formación de biomasa y procesos reproductivos como la floración, con impactos potenciales en calidad y productividad.

La bioestimulación en plantas funcionan como un impulso natural que despierta el potencial que la planta ya tiene dentro

No obstante, el efecto benéfico depende de la dosis, la forma de aplicación y el contexto edafoclimático. Un manejo inadecuado puede generar desequilibrios nutrimentales o síntomas de toxicidad, por lo que su uso debe sustentarse en el ambientales. En conjunto, la bioestimulación con elementos benéficos refuerza el enfoque de una agricultura más sostenible basada no solo en incrementar insumos, sino en mejorar la eficiencia funcional de la planta y fortalecer la interacción suelo-planta-ambiente frente a los retos actuales y futuros.



Los resultados que se han encontrados en algunos cultivos han sido relevantes como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Elementos benéficos y cultivos más estudiados.

Elemento benéfico	Cultivos más estudiados	Beneficios principales
Selenio (Se)	Hortalizas de hoja (lechuga, espinaca), tomate, pepino y frutales	Mejora tolerancia al estrés oxidativo y calidad nutricional
Silicio (Si)	Cereales (arroz, trigo), hortalizas (tomate, pepino)	Aumenta resistencia a plagas y enfermedades, mejora tolerancia al estrés hídrico
Cobalto (Co)	Leguminosas (frijol, soya, alfalfa)	Favorece la fijación de nitrógeno y la resistencia al estrés
Yodo (I)	Hortalizas (lechuga, col), tomate, pepino y frutales	Mejora la resistencia al estrés y puede contribuir a la calidad de los productos

Investigación y futuro: hacia una agricultura más sostenible

El estudio de los elementos benéficos y la bioestimulación vegetal representa una de las áreas más prometedoras de la ciencia agrícola. En el contexto global donde se busca mejorar la producción en los cultivos sin comprometer el ambiente, la aplicación de estos elementos benéficos podría ser clave para mejorar la calidad y rendimiento de las plantas.

Conclusión

La bioestimulación con benéficos son herramientas clave para lograr una agricultura más sostenible y resiliente. Ambos ayudan a las plantas a protegerse frente a factores bióticos (hongos, bacterias, virus o plagas) y abióticos (sequía, calor, radiación o cambios en la humedad).

Su aplicación adecuada favorece una mejor absorción de nutrientes, optimiza el metabolismo y fortalece el crecimiento vegetal. En conjunto, estos aliados invisibles contribuyen a una agricultura más productiva y sustentable. Por lo que estimular a las plantas con elementos benéficos es apostar por su capacidad natural de adaptarse, resistir y producir; una invitación a recordar que la sostenibilidad empieza al activar la vida del suelo, no solo al añadir insumos.





Literatura recomendada

- Romero-Félix, C. S., Paso, D. F. P., Salas-Arellanes, J. A., Saucedo-Acosta, R. H., Buelna-Tarín, S., López-Valenzuela, B. E., Romero-Félix, C. S., Paso, D. F. P., Salas-Arellanes, J. A., Saucedo-Acosta, R. H., Buelna-Tarín, S., & López-Valenzuela, B. E. (2023). Bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de *Phaseolus vulgaris* L. en el Norte de Sinaloa. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(2). <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3650>
- Soliveres, S. (2011). Efectos del estrés abiótico y factores bióticos en las interacciones planta-planta: Implicaciones para el funcionamiento y la restauración de los ecosistemas semiáridos. *Ecosistemas*, 20(2-3). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/655>
- Trejo-Téllez, L. I., & Gómez-Merino, F. C. (2023). Beneficial elements: novel players in plant biology for innovative crop production, volume II. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1303462. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1303462>



Semblanza de autores

M.C. Carlos Alberto Gabriel Zunun. Pertenece al programa de Doctorado en Agricultura Protegida en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, su línea de investigación es bioestimulación de cultivos hortícolas con elementos beneficios y levaduras.

M. C. Daniela Rodríguez Luna. Pertenece al programa de Doctorado en Agricultura Protegida en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, su línea de investigación es Bioconversión de residuos agroindustriales.



Dr. José Antonio González Fuentes. Profesor-Investigador adscrito al Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, pertenece al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) en el nivel 2. Su línea de investigación nutrición y bioestimulación de cultivos hortícolas y ornamentales.