

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
**Rol de los bioestimulantes en el mecanismo de defensa de las
plantas: Revisión de literatura**

Estudiante

Andrés Arteaga Paz

Asesores

Carolina Avellaneda Barbosa Ph.D.

Hugo Omar Ramírez Guerrero Ph.D.

Honduras, febrero 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA MARGARITA MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA ODILA TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	5
Índice de Figuras	6
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Materiales y Métodos.....	12
Revisión Literaria	13
Bioestimulantes	13
Métodos de Aplicación y Absorción de los Bioestimulantes	14
Como Absorben las Plantas los Bioestimulantes	14
Estrés en las Plantas.....	15
Hidrolizados de Proteína.....	18
Sustancias Húmicas.....	20
Extractos de Algas	22
Biorreguladores.....	24
Efectos de los Bioestimulantes en las Plantas	26
Efectos de los Bioestimulantes en la Tolerancia de Estrés Abiótico.....	27
Efecto de los Bioestimulantes en la Tolerancia del Estrés Biótico.....	28
Efecto de los Bioestimulantes En la Eficiencia del Uso de Nutrientes.....	29

Efecto de los Bioestimulantes en el Rendimiento de los Cultivos	30
Conclusiones	33
Referencias	34

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Resultados obtenidos de la aplicación de diferentes bioestimulantes en porcentaje para cada cultivo	32
--	----

Índice de Figuras

Figura 1 Respuesta de las plantas en las distintas fases del estrés	17
Figura 2 Clasificación de los Hidrolizados de proteína según la fuente y el método de hidrólisis utilizado en el proceso de producción.	19
Figura 3 Mecanismo de acción de las sustancias húmicas.	21
Figura 4 Esquema de los efectos provocados por extractos de alga y posibles mecanismos de bioactividad en plantas.	23

Resumen

Hoy en día la demanda de alimentos a nivel mundial crece de manera exponencial, debido a esto, la cantidad de alimento producido debe crecer al mismo ritmo. La agricultura moderna busca cumplir objetivos tales como: sostenibilidad, cuidado del medio ambiente, reducción en el uso de insumos sin afectar los rendimientos y la calidad de estos. Los productores en general buscan mejorar la eficiencia del uso de nutrientes de la planta y aumentar la tolerancia al estrés abiótico-biótico. Diversos factores que reducen la producción de alimentos a nivel mundial podrían ser contrarrestados con la implementación de los bioestimulantes en los sistemas de producción. Es allí donde el uso de bioestimulantes cobra importancia, por su capacidad de ayudar a las plantas a incrementar la eficiencia en la nutrición, favorecer la tolerancia a los diferentes tipos de estrés, calidad de la producción, actuando sobre la fisiología de las plantas a través de diferentes vías mejorando la capacidad y velocidad en la que las plantas envían señales a sus células. Además, mejora el vigor, la calidad, la vida útil y el rendimiento al momento de la cosecha de los cultivos. Los bioestimulantes aplicados a las plantas influyen positivamente en el sistema de defensa, creando una agricultura más sostenible, siendo cada vez más utilizados en la producción agrícola a nivel mundial y contribuyendo eficazmente a superar el reto planteado por la creciente y continua demanda de alimentos por parte de la población mundial. Es por esto, que el enfoque de esta revisión se basa en la relevancia que tienen los bioestimulantes en la agricultura actual y su importancia en los cambios a futuro.

Palabras clave: Agricultura, bioestimulantes, estrés, rendimiento, sistema.

Abstract

Today the demand for food worldwide is growing exponentially, because of this, the amount of food produced must grow at the same rate. Modern agriculture seeks to meet objectives such as: sustainability, care for the environment, reduction in the use of inputs without affecting their yields and quality. Growers in general seek to improve plant nutrient use efficiency and increase tolerance to abiotic-biotic stress. Various factors that reduce food production worldwide could be counteracted with the implementation of biostimulants in production systems. This is where the use of biostimulants becomes important, due to their ability to help plants increase their nutritional efficiency, promote tolerance to different types of stress, quality of production, acting on plant physiology through of different pathways improving the capacity and speed in which plants send signals to their cells. It also improves the vigor, quality, shelf life and yield at harvest of crops. Biostimulants applied to plants have a positive influence on the defense system, creating a more sustainable agriculture, being increasingly used in agricultural production worldwide and effectively contributing to overcoming the challenge posed by the growing and continuous demand for food by of the world population. For this reason, the focus of this review is based on the relevance of biostimulants in current agriculture and their importance in future changes.

Keywords: Agriculture, biostimulants, organic, system, stress.

Introducción

Se estima un crecimiento de la población mundial del 13% en el año 2030 y del 30% en el 2050, por lo que será necesario un incremento del 70% en la producción agrícola para solucionar los problemas de desnutrición y garantizar la seguridad alimentaria (FAO 2019). Para este futuro no muy lejano, un segmento importante de dicha población tendrá mayores ingresos que impactará directamente en una mayor demanda de alimentos, en una sociedad mayormente educada e informada sobre asuntos relacionados con la nutrición y buena alimentación, lo que permitirá mejores índices de desarrollo humano, incluyendo la salud (Pérez Vázquez et al. 2018).

La seguridad alimentaria es un asunto de importancia y alerta internacional ante el incremento en la población mundial, debido al riesgo de no poder producir los alimentos suficientes y a eventos extremos inducidos por el cambio climático, cambio en el uso del suelo y la inminente reducción de agua disponible en volumen y calidad para la agricultura (Pérez Vázquez et al. 2018).

Al mismo tiempo, el cambio climático suscitado en los últimos años ha afectado la agricultura mundial, imponiendo limitaciones y retos frecuentemente ignorados en el pasado. La condición medioambiental y la calidad de los productos influyen las decisiones de los agricultores de diversas maneras, al tener que adaptar sus sistemas de producción tomando en cuenta las condiciones y ubicación donde se establecerá el cultivo. Esta problemática es la principal causa de pérdidas en cultivos mundialmente, generando una disminución en el rendimiento de al menos 50 % en la mayoría de los cultivos (Helen Veobides et al. 2018). La mayoría de las pérdidas se atribuyen a factores externos a la planta, que constituyen condiciones de estrés biótico y abiótico, en los cuales resaltan la temperatura, el agua, la radiación, las sustancias químicas, las plagas y las enfermedades (Helen Veobides et al. 2018).

Como consecuencia de esta situación, frecuentemente los agricultores realizan malas prácticas agrícolas que han contribuido al deterioro del medio ambiente en diversos ecosistemas (Cuesta y Delgado 1996). Debido a esto, las plantas están constantemente sometidas a condiciones

desfavorables para su correcto desarrollo y funcionamiento óptimo. Para incrementar la productividad agrícola, se buscan cultivares que se desarrollen con mayor tolerancia a estos tipos de condiciones desfavorables. Por esto, es necesario desarrollar una agricultura sostenible, económicamente viable, socialmente aceptable, suficientemente productiva, conservadora con los recursos naturales y que resguarde la integridad del ambiente local, regional y globalmente (Sarandón y Flores 2014). En este sentido los estudios científicos realizados, se enfocan mayormente en mejorar las condiciones del medio ambiente para favorecer el desarrollo de las plantas, siendo la principal opción la aplicación de una gran cantidad de productos químicos. Entre estos, se encuentran herbicidas e insecticidas, así como el uso indiscriminado del agua y la aplicación de nutrientes necesarios para que la planta tolere las condiciones de estrés. Sin embargo, actualmente existen nuevos métodos que consisten en adaptar la planta al medio ambiente cambiante (Yepes y Buckeridge 2012). Dichas alternativas de agricultura sustentable deben mantener la calidad en sus cultivos, favoreciendo el entorno sin alteraciones en el medio ambiente. De igual forma, debe mejorar la viabilidad económica, donde el uso de insumos como fertilizantes y agroquímicos, sea el menor posible con el objetivo de preservar recursos y mejorar la eficiencia del cultivo (Pazmiño 2017; Pástor Pazmiño et al. 2017).

El uso de Bioestimulantes se ha convertido en una práctica común en la agricultura y proporciona una serie de beneficios para estimular el crecimiento y proteger contra el estrés al cultivo (van Oosten et al. 2017). Los bioestimulantes son sustancias que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas, además de mejorar su metabolismo y conferir a las plantas resistencia ante condiciones adversas (Palazón 2014). Se han empleado para combatir y reducir el impacto de situaciones desfavorables, además de elevar el rendimiento de los cultivos, demostrando su capacidad para promover crecimiento en plantas y modificar la fisiología de estas. Estos productos actúan sobre la degradación de las sustancias de reserva de las semillas, la diferenciación, la división y elongación celular (Pereira G et al. 2020). Los biofertilizantes pueden ser aplicado a semillas, suelos, rizosfera o

superficies de plantas. Además, son menos costosos y, a veces, más efectivo en comparación con los fertilizantes inorgánicos (Yousef et al. 2020).

Por este motivo, el uso de bioestimulantes en la agricultura se propone como una herramienta segura para mejorar las propiedades nutricionales de los cultivos alimentarios. Los mecanismos detrás de la fisiología y bioquímica de estas sustancias a menudo se desconocen debido a la naturaleza heterogénea de la materia prima, efectos producidos son a menudo el resultado de muchos componentes que puede funcionar sinérgicamente de diferentes formas (Ertani et al. 2015). La presente revisión de literatura recopila el rol de estas sustancias en el sistema de defensa de las plantas y la importancia de su uso en la actualidad. De esta manera, los objetivos del presente estudio son investigar el rol de los bioestimulantes en el sistema de defensa de las plantas, determinar el efecto de los bioestimulantes y su incorporación en la producción agrícola y definir la importancia que estos tendrán en el futuro de la agricultura.

Materiales y Métodos

Estrategias de Búsqueda

Este estudio que se considera descriptivo el cual se llevó a cabo entre los meses enero a junio de 2021, donde se realizó una búsqueda de literatura en las bases de datos Google Académico, Springer Link, Researchgate y Elsevier. La primera búsqueda en la base de datos se usó la palabra “Biostimulants” para ajustar el tema principal. Y para poder afinar los conceptos se añadió la frase “in plants”. Por otra parte, en filtros se hizo una selección de artículos en años, que comprendían de 1995 al 2020 reduciendo así considerablemente la búsqueda. Finalmente, se incluyó la palabra “agriculture” para que la búsqueda fuera en el área exacta. No se incluyó investigaciones o artículos realizadas a cultivos maderables, métodos de fabricación de bioestimulantes y procesos de obtención.

Al final de este proceso de búsqueda, se seleccionaron los 68 artículos presentes en este estudio, algunas para informar al máximo con respecto al tema y otras para sustentar el desarrollo del trabajo y tener conclusiones apoyadas en datos.

Criterios de Inclusión y Exclusión

Se incluyeron artículos publicados ya sean en inglés, español o portugués. Se recopilaron artículos de revistas que hayan sido publicados desde 1995 hasta 2020. Se utilizaron artículos, en los cuales, los estudios en cuestión se realizaron ya sea en campo como tal o en invernaderos.

Revisión Literaria

Bioestimulantes

El sector agrícola se está enfrentando a un desafío muy importante, aumentar la productividad para alimentar a la creciente población mundial, así como maximizar la eficiencia en el uso de recursos, intentando reducir el impacto en los ecosistemas (FAO 2019). El uso de bioestimulantes es una innovación prometedora para cumplir estos propósitos, debido a que mejoran la floración, el crecimiento de las plantas, el aprovechamiento de nutrientes, la productividad de los cultivos y también pueden mejorar la tolerancia contra un gran grupo de factores abióticos estresantes (Di Mola et al. 2019). La utilización de este producto ha ido aumentando debido a sus distintos beneficios y fácil acceso, su uso se ha estado expandiendo considerablemente (Rouphael y Colla 2020).

La definición de bioestimulantes puede ser entendida como cualquier sustancia (orgánica, mineral, sintética) aplicada a las plantas que influye positivamente en su crecimiento y desarrollo, con el objetivo de mejorar la nutrición, eficiencia, tolerancia al estrés abiótico y / o rasgos de calidad del cultivo, independientemente de su contenido en nutrientes (Du Jardin 2015). Las formulaciones modificadas llamadas bioestimulantes mejoran el absorción de nutrientes, resistencias al estrés abiótico y mejorar la calidad de los cultivos (Rouphael y Colla 2018).

La mayoría de los bioestimulantes se aplican solos, directamente al follaje, aunque en ciertos casos también pueden ser aplicados al suelo ya sea por fertiirrigación o en *drench* (Tonconi Romero 2015). Ciertos bioestimulantes pueden usarse en mezcla con insecticidas, fungicidas u otros fertilizantes solubles, pero antes es recomendable comprobar su compatibilidad con el otro producto, es decir cuidar que no se precipiten, caso contrario no es recomendable realizar la mezcla (Hipolito 2006).

Los bioestimulantes basados en materiales naturales, han percibido una atención considerable por parte de la comunidad científica y por las empresas comerciales, específicamente en las últimas dos

décadas Se prevé que aumente el mercado mundial de bioestimulantes a un ritmo de 11,24% anual y alcanzó más de US \$2,6 mil millones en 2019, estimando alcanzar un total de US \$4,9 mil millones para 2025, (Brown y Saa 2015; Yakhin OI. et al. 2016; Puglia et al. 2021). El Consejo Europeo de la Industria de Bioestimulantes (EBIC) informó que en 2012 más de 6,2 millones de hectáreas fueron tratadas con bioestimulantes en Europa siendo este el mercado más grande ese año (Markets and Markets 2019).

Métodos de Aplicación y Absorción de los Bioestimulantes

Los bioestimulantes se aplican normalmente por vía foliar, pero también por vía radicular. Se utilizan en pulverizaciones foliares o a través de los sistemas de riego (tradicional, localizado, etc.) para activar o estimular el desarrollo vegetativo, la floración, el cuajado o el desarrollo de los frutos. Con frecuencia los aminoácidos también se emplean mezclándolos con productos fitosanitarios (insecticidas, fungicidas, herbicidas) para potenciar la acción de los mismos (Sobario 2001).

La fertilización foliar se ha convertido en una práctica importante en sistemas de producción agrícola porque permite la corrección rápida y oportuna de deficiencias nutricionales, que usada en conjunto a la fertilización edáfica favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas, y mejora el rendimiento y calidad de la cosecha. Implica sumergir la semilla en una solución o suspensión por un tiempo que depende del tipo de semilla y del producto usado. Generalmente, este tratamiento se usa cuando la cubierta de la semilla es gruesa y se recomienda usarlo justo antes de sembrar (Sobario 2001).

Como Absorben las Plantas los Bioestimulantes

En general, estos productos se caracterizan por ser, en mayor o menor medida, directamente asimilables por las plantas, no dependiendo su absorción de la función clorofílica; es decir, pasan a través de la epidermis al haz vascular desde el cual y con un consumo mínimo de energía, entran a formar parte de las células en lugares de activo crecimiento. Se ha comprobado que utilizando

aminoácidos marcados con C14 la absorción y la translocación interna se hace muy rápidamente tras su aplicación y que emigran de forma inmediata hacia las partes de la planta en crecimiento (Sobario 2001).

Estrés en las Plantas

En el rendimiento de las cosechas influyen factores genéticos, factores ambientales, calidad del suelo, época y densidad de la siembra, temperatura, fotoperiodo, disponibilidad de agua, fertilización, presencia de malezas, ataque de plagas y enfermedades (Caballero Molada 2016). En relación con los factores ambientales, el principal problema que afecta el rendimiento de los cultivos a nivel mundial se debe a distintas condiciones de estrés, tales como: sequía, elevada salinidad del suelo y temperaturas extremas, también a suelos excesivamente ácidos o alcalinos y a la toxicidad química (Caballero Molada 2016).

El estrés oxidativo es una condición fisiológica causada por la activación del oxígeno molecular (O_2) para generar especies de oxígeno reactivo (ROS, por su sigla en inglés). Esta condición es parte del metabolismo celular y solo adquiere importancia cuando ocurre un desbalance entre la producción de ROS y los mecanismos de defensa (Carvajal 2019). De igual manera otro inconveniente es la salinidad, se clasifica según su origen entre salinidad primaria (causas naturales) y secundaria (efecto de la actividad humana) (Owens 2001).

Las áreas más productivas del mundo son zonas áridas y semiáridas con sistemas de riego, estos territorios sufren una progresiva salinización (secundaria) debido a la acumulación de las sales disueltas en el agua de riego, lo que disminuye sensiblemente su productividad; a tal punto que un 20% de estas tierras se encuentran afectadas por salinidad secundaria y el área damnificada aumenta constantemente, lo que tiene como consecuencia el que cada año se pierdan unos 10 millones de hectáreas cultivables y se obtengan muy bajos rendimientos agrícolas (Munns y Tester 2008).

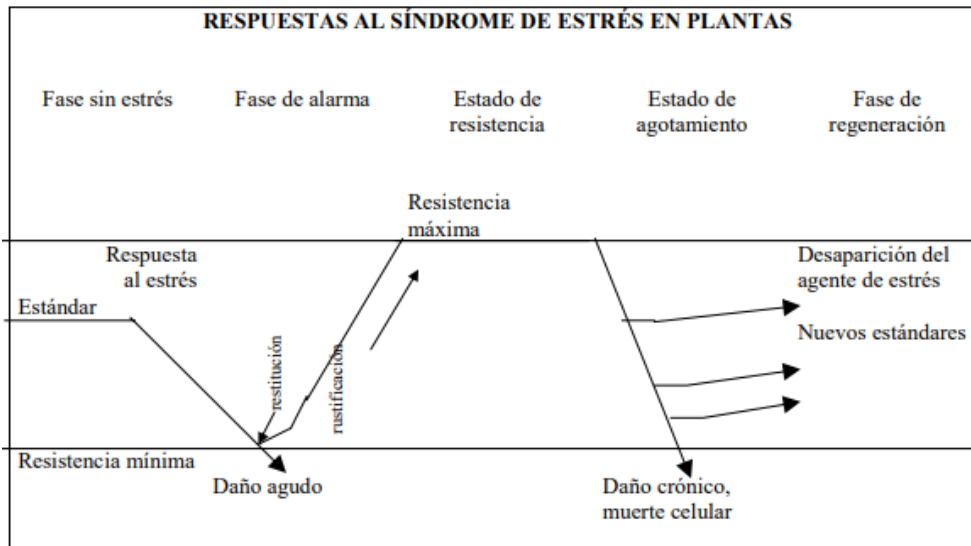
Por otro lado, las temperaturas extremas ocasionadas por el cambio climático producen graves daños sobre los cultivos e incrementa la presencia de otros estreses como la sequía y la salinidad en los cultivos (Vega Cuarán 2020).

Tomando en cuenta la gran cantidad de factores bióticos y abióticos (solos o combinados) que producen estrés en las plantas es importante diferenciar las fases de respuesta de las plantas ante estos. Se diferencian tres fases en las respuestas de las plantas al estrés, donde se puede agregar una cuarta fase si se controla el agente que lo provoca y si el daño producido por este no ha sido demasiado severo, de igual manera las fases varían según el tiempo e intensidad del estrés (Figura 1).

La primera fase es de respuesta o reacción de alarma ocurre al principio del estrés y provoca desviación de las funciones normales de la planta, disminución de la vitalidad y los procesos catabólicos exceden el anabolismo. La segunda fase es de restitución donde la planta se encuentra en un estado de resistencia (continúa el estrés) y se concentra en procesos como de adaptación, reparación y justificación (reactivación). Por último, la fase final, la planta entra en estado de agotamiento (estrés continuo a largo plazo). En esta etapa es de vital importancia controlar el factor estresante, cuando los agentes de estrés se eliminan en el momento justo antes del proceso de senescencia las plantas entraran en fase de regeneración. De no ser corregido la intensidad del estrés es demasiado alta sobrecargando la capacidad de adaptación y provocando una enfermedad crónica o muerte.

Figura 1

Respuesta de las plantas en las distintas fases del estrés



Nota. Tomado de García Molla (1993).

La respuesta al estrés puede ser de muchos tipos, algunos de ellos específicos de un cierto estrés, mientras que otros son más generales (Azcón Bieto et al. 2008): Cambios en la actividad hormonal, además de participar en la percepción de la señal, la modificación de los niveles hormonales puede incrementar la resistencia al estrés. Sufrir alteraciones en el desarrollo de la planta. Se aprecia un menor desarrollo vegetativo, así como una reducción del número de estructuras reproductivas que aceleran su desarrollo para asegurar la siguiente generación. También el aumento o la disminución en la actividad de rutas alternativas de disipación y obtención de energía, como la fermentativa. Así como afectar la síntesis y acumulación de compuestos osmoprotectores que actúan restaurando el potencial hídrico o bien como protectores de la estructura de membranas y macromoléculas.

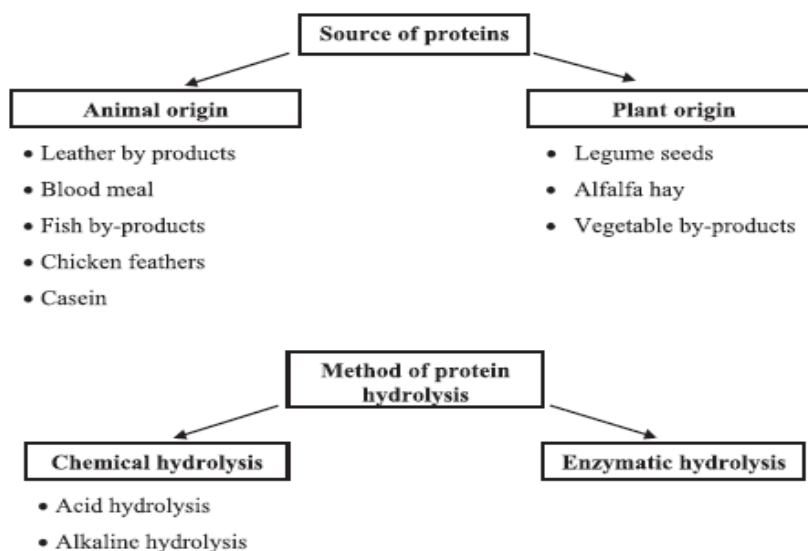
Existen diversas categorías de bioestimulantes específicos, entre ellos, los hidrolizados de proteínas, extractos de algas, derivados de quitina (quitosanos), ácidos húmicos y fúlvicos, hongos micorrízicos y bacterias promotoras del crecimiento (Morales 2017). Algunas categorías de bioestimulantes son ampliamente reconocidas y usadas en el rubro agrícola.

Hidrolizados de Proteína

Los hidrolizados de proteínas (PH) son una categoría de bioestimulantes de plantas definidos como mezclas de polipéptidos, oligopéptidos y aminoácidos que se fabrican a partir de fuentes de proteínas mediante hidrólisis parcial (Schaafsma 2009). Los PH se producen principalmente por hidrólisis química y/o enzimática de proteínas contenidas en subproductos agroindustriales de origen animal (cuero, vísceras, plumas, sangre) o de origen vegetal, principalmente en la biomasa de leguminosas (Baldotto L et al. 2010). En general, más del 90% del mercado de PH en la horticultura se basa en productos obtenidos mediante hidrólisis química de proteínas de origen animal (Figura 2) (Colla et al. 2015). Los PH producidos enzimáticamente a partir de biomasa vegetal, son menos comunes porque se han introducido recientemente en el mercado de bioestimulantes (Colla et al. 2015). Se han realizados pruebas con PH que demuestran una mejora en brotes y raíces, así como el rendimiento y productividad en cultivos hortícolas (Kunicki et al. 2010; Colla et al. 2014; Ertani et al. 2015).

Figura 2

Clasificación de los hidrolizados de proteína según la fuente y el método de hidrólisis utilizado en el proceso de producción.



Nota. Tomado de Colla et al. (2015).

Los hidrolizados de proteínas (PH) pueden interferir con el equilibrio de fitohormonas de la planta, influyendo en el desarrollo de la misma, debido a la presencia de péptidos específicos y precursores de síntesis de fitohormonas, como el triptófano (Colla et al. 2014). Algunos aminoácidos presentan efectos quelantes (prolina) que pueden proteger a las plantas contra los metales pesados, contribuyendo de esta manera, a la movilidad y adquisición de micronutrientes (Lupano 2013). Lo antes mencionado, tiene un efecto altamente positivo al generar una mitigación del estrés ambiental. Los efectos indirectos sobre la nutrición y el crecimiento de las plantas son muy importantes en la práctica agrícola, específicamente cuando se implementan hidrolizados de proteínas a plantas y suelos (Colla et al. 2015). Los PH aumentan la biomasa y la actividad microbiana, la respiración del suelo y, en general, mejora la calidad del suelo al que se le aplica (Du Jardin 2015). Los bioestimulantes a base de PH son herramientas sumamente eficaces para desarrollar prácticas hortícolas más sostenibles.

Sustancias Húmicas

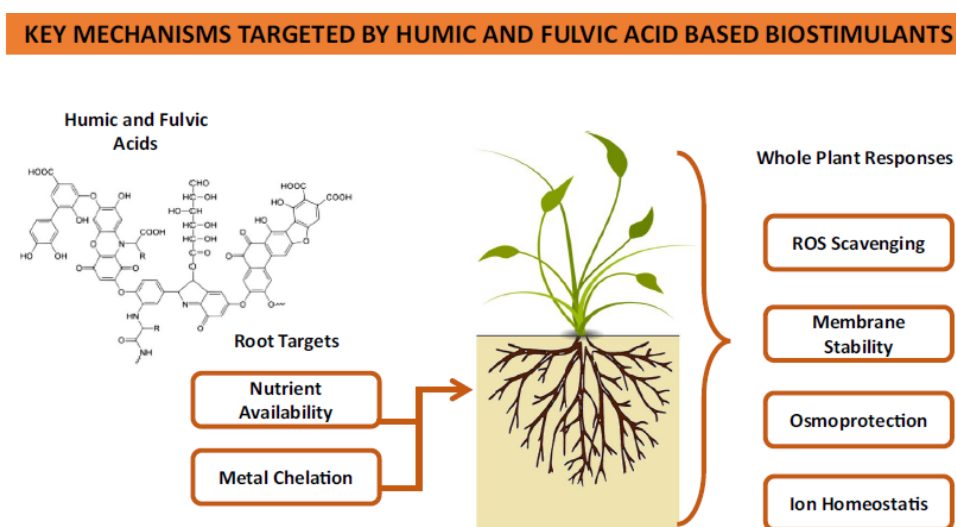
Los ácidos húmicos (HA) son sustancias que se encuentran naturalmente en compuestos orgánicos poliméricos y son producidas por la descomposición de materiales orgánicos (Chen et al. 2004). Las sustancias húmicas (SH) constituyen más del 80% de la materia orgánica del suelo (MOS), aunque pueden estar presentes en ambientes acuáticos y en la atmósfera (Canellas y Olivares 2014); se pueden encontrar en el suelo, la turba y los lignitos. Los HA pueden estimular el crecimiento de las plantas y aumentar la tolerancia contra el estrés abiótico mejorando la absorción de nutrientes (Figura 3) ejerciendo efectos similares a las hormonas como auxinas (Baldotto MAltoé y Baldotto LEstrela Borges 2013). También estimulan el crecimiento, alargamiento y aumento de brotes, además de mejorar la acumulación de nutrientes en las hojas (Chen et al. 2004) y biosíntesis de clorofila (Baldotto LEstrela Borges et al. 2009).

Muchas de las sustancias activas de los bioestimulantes pueden estar presentes en concentraciones muy bajas, pero sin embargo pueden proporcionar fuertes efectos biológicos (Bulgari et al. 2014). Las sustancias húmicas se caracterizan por presentar una estructura compleja, variable y una multiplicidad de grupos funcionales y pequeñas moléculas heterogéneas que interactúan mediante uniones débiles, lo cual hace que exhiban una gran variedad de funciones beneficiosas, entre las que se encuentra su potencial para incrementar los rendimientos y atenuar los efectos de estreses medio ambientales y cuyas fuentes de origen se encuentran en la materia orgánica del suelo, en minerales como la leonardita y residuos orgánicos de diversos orígenes, luego de un proceso de transformación por los microorganismos del suelo (Helen Veobides et al. 2018). También se ha demostrado la influencia de SH en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y han sido ampliamente demostradas, tienen un papel importante en el crecimiento mantenido de las plantas (Canellas y Olivares 2014).

Los ácidos húmicos tienen un papel fundamental en los procesos ecológicos y medioambientales. Regula tanto el ciclo del carbono y el nitrógeno en el suelo y afecta el crecimiento de plantas y microorganismos (Garcia Molla 1993).

Figura 3

Mecanismo de acción de las sustancias húmicas.



Nota. Tomado de Canellas y Olivares (2014).

Se ha encontrado que las sustancias húmicas son efectivas para mejorar el crecimiento por vía endógena; a través de diferentes modos de aplicación y mejora la nutrición de diferentes plantas de cultivo, adicionalmente útil para mejorar la defensa antioxidante (Olivares et al. 2017). Según de Camargo e Castro y Amaral Carvalho (2019) las sustancias húmicas también pueden actuar para proteger de los efectos tóxicos para las plantas, promovido por la acción de pesticidas, fertilizantes y estiércol crudo. Esta protección se debe a la presencia de una red de cargas negativas en su estructura, capaces de reaccionar con compuestos orgánicos que contienen nitrógeno. Este tipo de interacción es compleja. Existen estudios donde las SH permite que los herbicidas del grupo de iones dipiridilo desaparezcan del medio ambiente del suelo cuando se aplica, en el caso de herbicidas del grupo de las di-nitroanilinas, las sustancias húmicas completan estos compuestos, lo que les permite ser absorbido por las plantas.

Extractos de Algas

Los extractos de algas representan otra importante categoría de bioestimulantes orgánicos no microbianos; siendo algas rojas, algas verdes, y macroalgas marrones las más comúnmente utilizadas en agricultura y horticultura con varios productos comerciales presente en el mercado (Colla et al. 2020). Las macroalgas se cosechan típicamente de mares y océanos, lo que dificulta el control la composición química y calidad de su materia prima, lo que lleva a dificultades en estandarización y obtención de un rendimiento fiable del producto extraído (Rouphael y Colla 2020). Habitan en las regiones costeras de los océanos del mundo donde existen sustratos adecuados. Se estima que existen alrededor de 9,000 especies de macroalgas, clasificados ampliamente en tres grupos principales basados en su pigmentación, por ejemplo, *Phaeophyta*, *Rhodophyta* y *Clorofita*; o las algas pardas, rojas y verdes, respectivamente (Khan et al. 2009) .

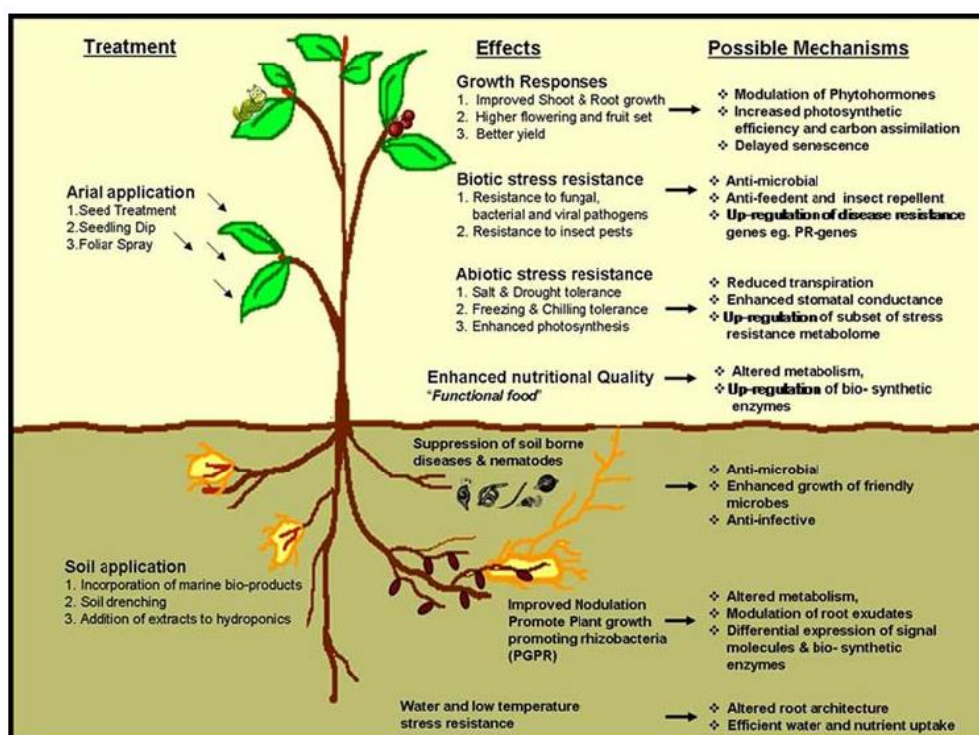
Se producen 15 millones de toneladas métricas de productos de algas anualmente (FAO 2006), una parte considerable del cual se utiliza para suplementos de nutrientes y como bioestimulantes o biofertilizantes para aumentar el crecimiento y el rendimiento de las plantas. El uso de algas frescas como fuente de materia orgánica y como fertilizante es antiguo en la agricultura, pero los efectos bioestimulantes se han registrado solo recientemente. Esto impulsa el uso comercial de extractos de algas y de compuestos purificados, que incluyen los polisacáridos laminaria, alginatos y cartageninos y sus productos de degradación (Du Jardin 2015). Varios de estos compuestos son de hecho únicos en su fuente de algas, lo que explica el creciente interés de la comunidad científica y de la industria por estos grupos taxonómicos.

Se ha encontrado que el uso exógeno de bioestimulantes de algas altera los muchos procesos metabólicos incluso en concentraciones muy bajas que mejoraron el crecimiento de la planta, la floración y el rendimiento final y la calidad nutricional del rendimiento (Hussain et al. 2021). Los extractos de algas son materiales, distintos de los fertilizantes, que promueven el crecimiento de las plantas cuando se aplica en pequeñas cantidades y también son denominados "potenciadores

metabólicos" (Estudillo Bahena 2017). Algunos de los componentes de las algas como macro y micronutrientes, aminoácidos, vitaminas, citoquininas, auxinas, y algunas sustancias similares al ácido Abscísico (ABA) afectan el metabolismo celular en las plantas tratadas que conduce a una mejora en el crecimiento y en el rendimiento de los cultivos (Figura 4) (Jordan 2006).

Figura 4

Esquema de los efectos provocados por extractos de alga y posibles mecanismos de bioactividad en plantas.



Nota. Tomado de Khan et al. (2009).

Las algas pardas son las segundas más abundantes, este grupo comprende unas 2,000 especies que alcanzan sus niveles máximos de biomasa en las costas rocosas de las zonas templadas además de ser el tipo de alga más utilizado en agricultura, entre ellos, *Ascophyllum nodosum* (L.), la cual es la más investigada, pero también las algas como *Fucus* spp., *Laminaria* spp., *Sargassum* spp., y *Turbinaria* spp. se utilizan e investigan bastante como biofertilizantes en la agricultura (Du Jardin 2015). Numerosos estudios han revelado una gran cantidad de beneficios producto de la aplicación

de extracto de algas en las plantas, tales como germinación y establecimiento tempranos de semillas, mejor rendimiento de los cultivos, resistencia elevada a estrés abiótico, y una mayor vida útil pos cosecha de productos perecederos (Dong et al. 2012).

Biorreguladores

Los reguladores de crecimiento o bioreguladores son hormonas o sustancias del tipo hormonal que en cantidades determinadas promueven, inhiben o afectan los procesos biológicos o bioquímicos en las plantas (Flores et al. 2013). Algunos de los bioreguladores más usados en la agricultura moderna son: auxinas, Giberelinas, Citoquininas, retardadores, inhibidores y etileno. Además de esto grupos clásicos, los grupos de brasinoesteroides, jasmonatos, salicilatos y poliaminas, con efectos similares a los de los bioreguladores (Jordan 2006).

Con respecto a las aplicaciones agrícolas de biorreguladores, se debe considerar que algunos cultivos ya han alcanzado etapas de evolución que requieren un alto nivel técnico para lograr mejoras en la productividad. En estas condiciones, la economía del uso de tecnología avanzada ha generado empleo de biorreguladores, que a menudo pueden dar buenos rendimientos (de Camargo e Castro y Amaral Carvalho 2019). La efectividad de estas sustancias varía y depende de distintos factores como el momento de aplicación, la concentración empleada, clima y tipo de cultivar. Entre los beneficios más importantes del uso de estas sustancias encontramos los siguientes: mejora en la conservación de frutos, control de la floración, control del crecimiento vegetativo, promoción de la ramificación y control de la abscisión del fruto (Valencia Martínez 2012).

Jordan en su estudio realizado en el 2006 explica que es importante entender el funcionamiento de las hormonas en las plantas, de las cuales se destacan: auxinas, el nombre de esta hormona deriva del griego "auxein" que significa "crecer" y estas se sintetizan en hojas jóvenes principalmente en zonas del meristemo apical y en semillas en desarrollo. Estimulan el crecimiento de tallos y división celular, así mismo actúan sobre el crecimiento inicial de los frutos, iniciación radical y estimulan la diferenciación vascular de los tejidos (Rastogi et al. 2013). Algunas auxinas sintéticas son: Ácido

Naftalenacetico (ANA) y 2,4,5 triclorophenoxipropionico (2,4,5-TP). Las giberelinas fueron descubiertas por el investigador Eiichi Kurosawa en 1926, quien observó en el hongo *Gibberella fujikuroi*, una sustancia que al usarse incrementaba de forma significativa la altura de las plantas, incluso afectaba en el rendimiento. Se sintetizan en frutos pequeños, semillas y en ápices, que actúan en la elongación celular y se participan en la inhibición floral en frutales.

Las citoquininas están relacionadas a las bases de los ácidos nucleicos. Se producen en las semillas en desarrollo y en los ápices radicales, promueven la división celular, controla la dominancia apical y regula la apertura estomática (Ruiz 2017). El etileno se sintetiza a partir de la metionina y su función principal es la maduración y abscisión de los frutos, además de la inducción floral (Borjas 2020).

El ácido abscísico es producido por semillas y hojas maduras, regulan el nivel de agua en la planta por medio de las estomas y facilita el transporte de fotosintatos (Jordan 2006). Para realizar un correcto uso de los biorreguladores se necesita un conocimiento sólido de las bases fisiológicas de los procesos que se intentan controlar y su mecanismo de acción. Estas sustancias son una herramienta muy útil si se aplica en el momento necesario eligiendo productos de bajo impacto ambiente (Flores et al. 2013).

El ácido jasmónico tiene moléculas relacionadas y sus derivados, todos llamados jasmonatos (JAs), son compuestos de origen lipídico de estructura molecular similar a la de las prostaglandinas en animales. Actúan como moléculas señal de las respuestas de las plantas a diversas situaciones de estrés (heridas, ataque por patógenos y plagas, exposición a sequía y ozono) y participan en diversos procesos del crecimiento y desarrollo (Farmer et al. 2003).

El ácido salicílico (SA) es un compuesto fenólico simple que deriva del aminoácido fenilalanina. La importancia del SA como regulador del crecimiento en plantas está reducida a pocos procesos. En algunos casos su presencia afecta la síntesis de otros reguladores de crecimiento los cuales afectan procesos fisiológico (Martínez et al. 2004). Según Shah Jahan et al. (2019), otra de las funciones del

ácido salicílico es la regulación de la temperatura , el incremento de la tasa fotosintética y regula el sistema de defensa antioxidante mediante el alivio del estrés oxidativo. Zhang y Li (2019), reportan que el ácido salicílico es una hormona clave en diferentes aspectos de inmunidad en las plantas; también menciona que esta hormona es encargada de la expresión de los genes de resistencia y tiene un papel importante en la formación de una microbióta saludable en las raíces.

Los brasinoesteroides (BRs) son productos naturales que se encuentran en las plantas a muy bajas concentraciones. Las respuestas a los brasinoesteroides incluyen efectos sobre la elongación, la división celular, el desarrollo vascular y reproductivo, la polarización de la membrana y el bombeo de protones, las relaciones fuente/sitio de consumo y la modulación del estrés (Sasse 1997).

Efectos de los Bioestimulantes en las Plantas

Los bioestimulantes son sustancias biológicamente activas que mejoran el metabolismo y promueven el crecimiento de las plantas cuando se aplica en dosis correctas (Caradonia et al. 2019). Algunos de estos inducen resistencia sistémica contra factores patógenos o lesiones físicas (extracto de alga, betaína), mientras que otros suministran compuestos minerales listos para ser utilizados por las plantas, como el titanio o los aminoácidos (Kunicki et al. 2010).

Los bioestimulantes se pueden utilizar en la producción de hortalizas para mejorar la tolerancia de las plantas a factores de estrés, sanidad vegetal, productividad y rendimiento en diferentes etapas de crecimiento (Sánchez et al. 2007). Es una forma de mejora ecológica en el desarrollo de la planta que reduce el uso los fertilizantes y consumo de pesticidas (Parađiković et al. 2011). Los resultados dependen de la especie del cultivo, tipo de cultivar, factores ambientales, tiempo y dosis.

A nivel del sistema radical su acción está relacionada con la absorción y transporte de agua y nutrientes, mejorar el soporte de la planta, optimizar la síntesis de hormonas que regulan la división y diferenciación celular con mecanismos diferentes a los utilizados por los fertilizantes u otros productos nutricionales (Morales 2017).

Efectos de los Bioestimulantes en la Tolerancia de Estrés Abiótico

Gran porcentaje de la variabilidad en el rendimiento de los cultivos a nivel mundial, son consecuencia del cambio climático a nivel global (Pérez Vázquez et al. 2018). El estrés causado por estímulos desfavorables en el ambiente donde se implanta el cultivo incrementa las probabilidades de obtener una reducción en el rendimiento productivo al momento de la cosecha, las plantas actúan utilizando sus reservas de energía para combatir el estrés, lo cual afecta al propósito principal de las mismas (Drobek et al. 2019).

Debido a esto, se estima que los factores desfavorables en distintas regiones del mundo aumenten de manera continua, provocando así un impacto negativo en los cultivos, planteando una gran preocupación en los productores sobre la productividad de los cultivos y como consecuencia, la seguridad alimentaria en todo el mundo puede verse afectada (Mirón Pérez 2017). Con el fin de aplacar esta situación, muchos productores a nivel mundial están optando por la aplicación de bioestimulantes y los resultados comparados con otros productos y métodos han sido sugeridos como uno de los más prometedores.

En una investigación realizada por Baldotto LEstrela Borges et al. (2009) se obtuvo resultados positivos en el crecimiento y aclimatación de plantas de Piña (*Ananas comosus*) reproducidas *in vitro* con la aplicación de bioestimulantes (ácidos húmicos). Estos autores demostraron que durante el proceso de adaptación de las plantas se puede disminuir el estrés, aumentar la clorofila A y clorofila B; promover el crecimiento radicular. El sistema de raíces de la piña cambió significativamente con la aplicación de bioestimulante, donde se evidenció un incremento en la biomasa de la raíz, con un promedio de 48% con relación al testigo.

Díaz Valencia (2015) evaluó en un cultivo de espinaca (*Spinacea oleracea* L.) el efecto de la aplicación foliar de tres bioestimulantes en diferentes etapas de cultivo en Izamba, Ecuador. El mejor resultado se vio reflejado con una dosificación de 2 L/ha, siendo los principales beneficios: mayor longitud de hojas, mayor cantidad de hojas y a su vez mayor rendimiento kg/hectárea. También se

obtuvo una mayor utilidad neta, así como un alto índice de costo beneficio en comparación con el testigo.

En Cuba, Jiménez Arteaga et al. (2010) realizaron una evaluación de tres bioestimulantes Quitosana, Biobras-18 y Pectimorf sobre la incidencia de plagas comunes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L). Se obtuvieron resultados con el uso de quitosana, el cual actuó sobre el control de la palomilla. Obteniendo un control en la distribución de esta plaga, con un 10% de infección de la plaga en el lote aplicado a diferencia del lote control (100%). De igual forma se evaluó la respuesta frente al gorgojo (*Sitophilus orizae*, L.) obteniendo un control elevado con los tres productos aplicados. Y como último resultado, evidenciaron la ausencia de carbón del maíz (*Ustilago maidis*, L.) en el lote de prueba, comparado con grupo control donde si hubo presencia del 12% de este hongo.

Efecto de los Bioestimulantes en la Tolerancia del Estrés Biótico

Dos factores principales que afectan la producción de cultivos agrícolas son los nutrientes disponibilidad y gestión del control de enfermedades (Olowe et al. 2020). Los estimulantes microbianos están recibiendo actualmente mucho interés entre la comunidad de investigadores y productores agrícolas, por su potencial para mejorar la productividad de los cultivos, la calidad nutricional, así como resistencia a patógenos y plagas (Fiorentino et al. 2018).

La aplicación excesiva de fertilizantes y pesticidas en los sistemas de producción, se pueden disminuir empleando estimulantes microbianos para ayudar a una mejor absorción de nutrientes y combate a plagas (Bell 2017). Según Mulugeta et al. en el 2020 estipulan que el uso de bioestimulantes a base de extractos botánicos y otros, poseen un modo de acción fungistáticos, creando condiciones adversas que dificultan el crecimiento y la reproducción del patógeno. La protección conferida por estas defensas inducidas puede ser explotado en el manejo de plagas mediante la aplicación de bioestimulantes la cual se puede lograr a través de la aplicación exógena de productos bioestimulantes. Cada sustancia y compuesto es único y no solo puede producir efectos diferentes y

específicos en diferentes cultivos, sino que también pueden tener respuestas distintas por parte de herbívoros y enemigos naturales (Sobhy et al. 2012; Filgueiras et al. 2019).

Forrer et al. en su estudio en el 2017 probaron tres productos botánicos con la finalidad de combatir el tizón tardío en un cultivo. Encontraron que la corteza del espino amarillo (*Frangula alnus*) era tan efectiva como el cobre contra esta enfermedad. De igual manera el fosfito era resultado más eficaz que las aplicaciones de cobre. De igual forma, un estudio realizado Ngaufe y Kugedera en el 2019 evaluó los efectos del uso de diferentes concentraciones de extractos de ajo y chile para controlar las plagas en el cultivo de tomate. El experimento demostró que los extractos de ají y ajo tenían la capacidad de controlar *Alternaria Solani* en la producción de tomate, también indicaron que pueden ser efectivos para suprimir o ayudar al control de algunas plagas. (Sánchez et al. 2007) evaluaron el efecto de la aplicación de productos de la maceración del ajo (*Allium sativum* L.) y cardona (*Euphorbia lactea* L.) solos o en combinación con ají picante (*Capsicum frutescens* L.) sobre plagas y enfermedades de la habichuela, evidenciaron una menor incidencia y presencia de plagas y virus en los tratamientos.

Por medio de los bioestimulantes se puede optimizar la actividad agrícola no solo aumentando la producción, sino que también las plantas incorporen una capacidad de defensa y requieran menos insumos para un correcto desarrollo.

Efecto de los Bioestimulantes En la Eficiencia del Uso de Nutrientes

El uso de sustancias naturales bioactivas e inoculantes microbianos puede representar una herramienta valiosa para mejorar la disponibilidad de nutrientes del suelo, absorción y asimilación de nutrientes de las plantas (Pascale et al. 2018). La aplicación foliar de hidrolizados de proteínas aumenta el metabolismo de Hierro y Nitrógeno, dicha aplicación promueve la absorción de nutrientes y agua, mejorando el aprovechamiento de micro y macro elementos (Ertani et al. 2015).

Baldotto MAItoé y Baldotto LEstrela Borges (2013) evaluó la respuesta de *Gladiolus* spp ante un tratamiento de sustancias húmicas aplicadas en bulbos. Siendo su principal resultado un

crecimiento anticipado y acelerado en la floración, además, mayor calidad de flores adquiriendo mayor calidad comercial.

Vernieri et al. en el 2002 evaluó los efectos de bioestimulantes en el crecimiento y la calidad de la lechuga y plántulas de tomate durante el período de cultivo en el vivero. Obtuvieron resultados positivos en cuanto a biomasa y calidad nutricional de la planta. Amanda et al. en su estudio en el 2009 sugieren que las aplicaciones de bioestimulantes pueden utilizarse para estimular la eficiencia del uso de nutrientes y mejorando la calidad de las hortalizas de hoja tierna.

Los Bioestimulantes se pueden aplicar directamente al suelo o vía foliar, dependiendo de su composición y resultados esperados. En el estudio realizado por Kunicki et al. En el 2010 en un cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) aplicando Aminoplant de manera foliar y por fertirriego durante la fase de trasplante, antes de la formación de la cabeza se obtuvo un resultado positivo en el rendimiento total.

Se evidencia que los bioestimulantes pueden aumentar la absorción de nutrientes en ciertas condiciones, debido a esto se puede reducir el uso de fertilizantes sin afectar negativamente el rendimiento del cultivo (Pascale et al. 2018). A pesar de los efectos positivos que se han presentado en diferentes estudios y el hecho de que los bioestimulantes estén fácilmente disponibles en el mercado, hasta ahora no se ha mostrado una reducción significativa en el uso de fertilizantes en la agricultura convencional. Para lograr un cambio en la agricultura se debe encontrar los bioestimulantes efectivos para cada cultivo y para cada condición específica.

Efecto de los Bioestimulantes en el Rendimiento de los Cultivos

Los productos biofertilizantes y bioestimulantes son un recurso potencial para mejorar la producción y calidad de las cosechas, además actuando sobre el aprovechamiento de los nutrientes proporcionados por el suelo, optimizando la absorción del N y P; y reduciendo el uso de fertilizantes (Baroja Llanos y Benitez 2008)

Dos de los elementos con mayor influencia en la producción de los cultivos son el Nitrógeno (N) y el Fosforo (P) por esto son usados para fertilización, sin embargo, la utilización de estos nutrientes en forma química es limitada, debido a su alto costo y su limitación en la dosificación en los cultivos y en el suelo, es por esto que se buscan opciones más sustentables (FAO 2002) . Entre las alternativas agroecológicas más prometedoras en el mundo, se encuentra la aplicación de bioestimulantes.

Esto se puede corroborar con las investigaciones realizadas por Quintero et al. (2018) en el efecto de diferentes bioestimulantes sobre el incremento de crecimiento y productividad del frijol común. Este estudio se realizó en Cuba, donde se evaluó la altura de la planta, diámetro del tallo, número hojas por planta, materia seca, granos por vaina, masa de 100 de granos y rendimiento. Se hizo aplicación de 4 distintos bioestimulantes, y se obtuvo como resultado mejoría en todos los grupos de prueba comparando con el testigo. La mejoría llegó hasta un 46% en crecimiento, 23% superior en peso por gramos y un 49% más de granos por vaina (Quintero et al. 2018). En una investigación realizada en Italia por Carrasco Gil et al. (2021) se obtuvo resultados importantes con la aplicación de bioestimulantes en el rendimiento al momento de cosecha y calidad de fruto en tomate Cherry Vesuvian Piennolo en sistemas de cultivo orgánico y convencional. Se obtuvo resultados significativos en el rendimiento comercial y sus componentes, número de frutos y peso medio, en los tratamientos con bioestimulantes, mientras que no se registraron diferencias entre el sistema convencional y el orgánico. La aplicación de bioestimulantes a base de proteínas hidrolizadas y extractos vegetales tuvieron rendimientos altos en comparación con los no tratados control (+ 18,7% y + 11,2%, respectivamente).

En el estudio realizado por Santoso et al. (2018), se evaluó el efecto de los bioestimulantes fabricados por IRIBB aplicados en distintos cultivos (Cuadro 1). Obteniendo buenos resultados en rendimiento en comparación con los grupos control, debido a la aplicación de un bioestimulante de esta empresa. Teniendo como resultado más importante el aumento en la caña de azúcar con un 50%

y el Maiz con un 31%. Se demostró que la aplicación de bioestimulantes a base de orgánicos podrían mejorar la productividad de algunos cultivos anuales y perennes. Según los resultados obtenidos, los agricultores deberían obtener beneficios adicionales con el incremento de los rendimientos, sin embargo, esto dependerá del precio de venta de la cosecha.

Cuadro 1

Resultados obtenidos de la aplicación de diferentes bioestimulantes en porcentaje para cada cultivo

Cultivos	Ubicación	Rendimiento control (ton/ha)	Incremento en rendimiento (%)
Arroz	Este, Centro, Oeste	7.050	25
Maiz	Oeste	9.200	31
Papa	Centro, Oeste	18.250	30
Cebolla roja	Centro	9.670	23
Té	PTPN-8: PTPN-6	1.941	48
Palma aceitera	PTPN-6	6.805	29
Caña de azúcar	IRIBB	7.800	50

Nota. Adaptado de Santoso et al. (2018)

Los resultados obtenidos en este estudio con respecto a la eficiencia de los bioestimulantes en el rendimiento de cultivos se corroboran con el estudio realizado por Erazo Trujillo (2020) en el cual evaluó el efecto de bioestimulantes (Ácido Fúlvico y Nano-Gro) en la producción de lechuga hoja de roble. Realizaron tratamientos con bioestimulantes aplicados al cultivo por inmersión y de forma foliar, enriquecidos con NPK, donde concluyó que la aplicación de ácido fúlvicos generó un mayor rendimiento en comparación con los demás tratamientos y el testigo.

El uso de estos bioestimulantes en la agricultura es generalmente beneficioso si se combina con fertilizantes, debido a que tienen un gran potencial para reducir el consumo excesivo de fertilizantes, apoyando una agricultura más productiva y sostenible (Souza Campos et al. 2020).

Conclusiones

El uso de bioestimulantes influye positivamente el mecanismo de defensa de las plantas, aportando una mejor tolerancia a factores bióticos y medioambientales, y consecuentemente aumenta las ganancias en plantaciones comerciales, como respuesta a la mejora en la productividad.

La implementación de bioestimulantes en la producción agrícola presenta ventajas con respecto al fortalecimiento de los cultivos estudiados, traduciéndose en producciones más resistentes y, por ende, cultivos con mejores rendimientos, siendo los extractos de algas los bioestimulantes más usados para este fin.

Los diferentes programas de manejo que incluyan el fortalecimiento de las plantas mediante tecnologías emergentes como es la bioestimulación, siendo una alternativa sostenible y viable, además de presentar un gran potencial de investigación en el futuro cercano en las diferentes producciones agrícolas.

Los múltiples beneficios de los bioestimulantes para combatir situaciones de estrés han despertado gran interés en los agricultores. Debido a los beneficios que se pueden obtener, se debe investigar más acerca de esto, ya que una buena comprensión de estos mecanismos puede resultar en una generación más eficiente de bioestimulantes para el agricultor.

Los bioestimulantes agrícolas tienen un papel muy importante en la actualidad como complemento a la nutrición de los cultivos y a su protección ayudando a abordar los desafíos más importantes a los que se enfrenta la agricultura mundial en los próximos años.

Referencias

- Amanda A, Ferrante A, Valagussa M, Piaggese A. 2009. Effect of biostimulants on quality of baby leaf lettuce grown under plastic tunnel. *Acta Hort.* (807):407–412. doi:10.17660/ActaHortic.2009.807.58.
- Azcón Bieto J, Talón Cubillo M, Bonilla Mangas I, Gárate Ormaechea A. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. [sin lugar]: McGraw-Hill Interamericana de España; Servicio de Publicaciones. ISBN: 978-84-481-5168-3. spa. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=556962>.
- Baldotto L, Baldotto MA, Canellas LP, Bressan-Smith R, Olivares FL. 2010. Growth promotion of pineapple 'vitória' by humic acids and burkholderia spp. during acclimatization. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 34(5):1593–1600. doi:10.1590/S0100-06832010000500012.
- Baldotto LEB, Baldotto MA, Giro VB, Canellas LP, Olivares FL, Bressan-Smith R. 2009. Desempenho do abacaxizeiro 'Vitória' em resposta à aplicação de ácidos húmicos durante a aclimação. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 33(4):979–990. doi:10.1590/S0100-06832009000400022.
- Baldotto MA, Baldotto LEB. 2013. Gladiolus development in response to bulb treatment with different concentrations of humic acids. *Rev. Ceres.* 60(1):138–142. doi:10.1590/S0034-737X2013000100020.
- Baroja Llanos DM, Benitez M. 2008. Efecto de cinco bioestimulantes en el rendimiento de dos variedades de Alcachofa (*Cynara scolymus* L.) [Experimental]. Ibarra-Ecuador: Universidad Tecnica del Norte, Facultad de Ingenieria en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. 135 p; [consultado el 14 de feb. de 2021]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/259/2/03%20AGP%2072%20TESIS%20FINAL.pdf>.
- Bell C. 2017. Growcentia: microbial biostimulants can revolutionise agriculture. [sin lugar]: The New Economy; [consultado el 2 de mar. de 2021]. <https://www.theneweconomy.com/technology/growcentia-microbial-biostimulants-can-revolutionise-agriculture>.
- Borjas R. 2020. Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *Journal of the Selva Andina Biosphere.* 8(2):150–164.
- Brown P, Saa S. 2015. Biostimulants in agriculture. *Front Plant Sci.* 6:671. eng. doi:10.3389/fpls.2015.00671.
- Bulgari R, Cocetta G, Trivellini A, Vernieri P, Ferrante A. 2014. Biostimulants and crop responses: A review. *Biological Agriculture & Horticulture.* 31(1):1–17. doi:10.1080/01448765.2014.964649.
- Caballero Molada M. 2016. Estudio de efectos protectores y mecanismos de acción frente a estrés abiótico de bioestimulantes de fertilizantes en *Saccharomyces cerevisiae*. [sin lugar]: [sin editorial].

- Canellas LP, Olivares FL. 2014. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chem Biol Techn Agric*. 1(1):3. doi:10.1186/2196-5641-1-3.
- Carrasco Gil S, Allende Montalbán R, Hernández Apaolaza L, Lucena JJ. 2021. Application of seaweed organic components increases tolerance to Fe deficiency in tomato plants. *Agronomy*. 11(3):507. doi:10.3390/agronomy11030507.
- Carvajal C. 2019. Especies reactivas del oxígeno: formación, función y estrés oxidativo; [consultado el 23 de feb. de 2021]. 36. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152019000100091.
- Chen Y, Clapp CE, Magen H. 2004. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes. *Soil Science and Plant Nutrition*. 50(7):1089–1095. doi:10.1080/00380768.2004.10408579.
- Colla G, Cardarelli M, Rouphael Y. 2020. Plant biostimulants: new tool for enhancing agronomic performance and fruit quality of cucurbits. *Acta Hort*. (1294):245–252. doi:10.17660/ActaHortic.2020.1294.31.
- Colla G, Nardi S, Cardarelli M, Ertani A, Lucini L, Canaguier R, Rouphael Y. 2015. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*. 196(592):28–38. doi:10.1016/j.scienta.2015.08.037.
- Colla G, Rouphael Y, Canaguier R, Svecova E, Cardarelli M. 2014. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Front Plant Sci*. 5:448. eng. doi:10.3389/fpls.2014.00448.
- Cuesta MJ, Delgado A. 1996. Una práctica agrícola comprometida con el medioambiente y la PAC. *Instituto de Estudios Giennenses*. 159:303–307.
- de Camargo e Castro PR, Amaral Carvalho ME. 2019. Biorreguladores e bioestimulantes agrícolas. *Série Produtor Rural - nº 71*. Piracicaba SP: Divisão de biblioteca - DIBD. ISBN: 1414-4530.
- Di Mola I, Ottaiano L, Cozzolino E, Senatore M, Giordano M, El-Nakhel C, Sacco A, Rouphael Y, Colla G, Mori M. 2019. Plant-Based Biostimulants Influence the Agronomical, Physiological, and Qualitative Responses of Baby Rocket Leaves under Diverse Nitrogen Conditions. *Plants (Basel)*. 8(11). eng. doi:10.3390/plants8110522.
- Díaz Valencia MF. 2015. Efecto de la aplicación de tres bioestimulantes en el cultivo de Espinaca (*Spinacea oleracea l*), en la Zona de Izamba, provincia de Tungurahua [Tesis de grado]. Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo. 84 p; [consultado el 6 de feb. de 2021]. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/748/T-UTB-FACIAG-AGR-000150.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Dong W, Zhang X, Wang H, Dai X, Sun X, Qiu W, Yang F. 2012. Effect of different fertilizer application on the soil fertility of paddy soils in red soil region of southern China. *PLoS One*. 7(9):e44504. eng. doi:10.1371/journal.pone.0044504.

- Drobek M, Frąc M, Cybulska J. 2019. Plant Biostimulants: Importance of the Quality and Yield of Horticultural Crops and the Improvement of Plant Tolerance to Abiotic Stress—A Review. *Agronomy*. 9(6):335. doi:10.3390/agronomy9060335.
- Du Jardin P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*. 196:3–14. doi:10.1016/j.scienta.2015.09.021.
- Erazo Trujillo LH. 2020. Uso de bioestimulantes en la producción de lechuga hoja de roble en clima cálido tropical [Pregado]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 25 p; [consultado el 20 de ene. de 2021]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6873/1/CPA-2020-T046.pdf>.
- Ertani A, Sambo P, Nicoletto C, Santagata S, Schiavon M, Nardi S. 2015. The use of organic biostimulants in hot pepper plants to help low input sustainable agriculture. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2(1):476. doi:10.1186/s40538-015-0039-z.
- Estudillo Bahena AA. 2017. Efecto de extractos de algas marinas y aminoácidos en el crecimiento de lechuga (*Lactuca Sativa* L.) bajo un sistema de raíz flotante [Experimental]. Mexico: Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, Division de Agronomia. 54 p; [consultado el 7 de feb. de 2021]. <http://repositorio.uaaan.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/42211/K%2064759%20ALEJANDRA%20ANDREA%20ESTUDILLO%20BAHENA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2002. Los fertilizantes y su uso. Edición 2002. Paris: [sin editorial]. ISBN: 9253044144.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2006. Puntos más salientes de los estudios especiales de la FAO: Alcance de la industria de las algas marinas. <http://www.fao.org/3/y5600s/y5600s07.htm>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2019. El estado de la seguridad alimentaria y nutrición en el mundo 2019: Protegerse frente a la ... desaceleración y el debilitamiento de la economía. [sin lugar]: FOOD & AGRICULTURE ORG. ISBN: 978-92-5-131600-9.
- Farmer EE, Alméras E, Krishnamurthy V. 2003. Jasmonates and related oxylipins in plant responses to pathogenesis and herbivory. *Current Opinion in Plant Biology*. 6(4):372–378. doi:10.1016/s1369-5266(03)00045-1.
- Figueiras CC, Martins AD, Pereira RV, Willett DS. 2019. The Ecology of Salicylic Acid Signaling: Primary, Secondary and Tertiary Effects with Applications in Agriculture. *Int J Mol Sci*. 20(23). eng. doi:10.3390/ijms20235851.
- Fiorentino N, Ventorino V, Woo SL, Pepe O, Rosa A de, Gioia L, Romano I, Lombardi N, Napolitano M, Colla G, et al. 2018. Trichoderma-Based Biostimulants Modulate Rhizosphere Microbial Populations and Improve N Uptake Efficiency, Yield, and Nutritional Quality of Leafy Vegetables. *Front Plant Sci*. 9:743. eng. doi:10.3389/fpls.2018.00743.

- Flores L, Dussi MC, Machuca Y, Toselli M, Arjona C. 2013. Efecto de las fitohormonas sobre el control de la fructificación en manzanos. *Horticultura Argentina*. 32:27–31.
- Forrer H-R, Vogelgsang S, Musa T. 2017. Botanicals and Phosphonate Show Potential to Replace Copper for Control of Potato Late Blight. *J Fungi (Basel)*. 3(4). eng. doi:10.3390/jof3040065.
- García Molla J. 1993. Implicaciones del humus en reacciones y procesos de interés agronómico y medioambiental. [sin lugar]: Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla; [consultado el 22 de jun. de 2021]. <https://digital.csic.es/handle/10261/135245>.
- Helen Veobides H, Amador Guridi F, Izquierdo Vázquez V. 2018. Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas [REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA]*; [consultado el 2 de feb. de 2021]. 39:102–109. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000400015.
- Hipolito A. 2006. Efecto de tres bioestimulantes comerciales en el crecimiento de los tallos de proteas, *Leucadendron sp Cv. safari sunset* [Tesis de grado]. Ecuador: Universidad Técnica del Norte. 94 p; [consultado el 3 de mar. de 2021]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/190/2/03%20AGP%2024%20DOCUMENTO%20DE%20TESIS.pdf>.
- Hussain HI, Kasinadhuni N, Arioli T. 2021. The effect of seaweed extract on tomato plant growth, productivity and soil. *J Appl Phycol*. 33(2):1305–1314. doi:10.1007/s10811-021-02387-2.
- Jiménez Arteaga MC, González Gómez G, Falcón Rodríguez A, Quintana Pérez O, Bernardo Crespo G, Robaina Rodríguez C. 2010. Evaluación de tres bioestimulantes sobre la incidencia de plagas en el maíz (*Zea mays L.*) en la provincia de Santiago de Cuba; [consultado el 8 de feb. de 2021]. 37(2):45–48. http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V37-Numero_2/Art%207.pdf.
- Jordan M. 2006. Hormonas y reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. Chile: Ediciones Universidad de La Serena. <https://www.academia.edu/download/31848275/Auxinasgiberelinasycitocininas.pdf>.
- Khan W, Rayirath UP, Subramanian S, Jithesh MN, Rayorath P, Hodges DM, Critchley AT, Craigie JS, Norrie J, Prithiviraj B. 2009. Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. *J Plant Growth Regul*. 28(4):386–399. doi:10.1007/s00344-009-9103-x.
- Kunicki E, Grabowska A, Sękara A, Wojciechowska R. 2010. The effect of cultivar type, time of cultivation, and biostimulant treatment on the yield of spinach (*Spinacia oleracea L.*). *Folia Horticulturae*. 22(2):9–13. doi:10.2478/fhort-2013-0153.
- Lupano CE. 2013. Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento. [sin lugar]: Universidad Nacional de La Plata. ISBN: 978-950-34-1028-8. spa. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/109796>.
- Markets and Markets. 2019. iostimulants Market by Active Ingredient (Humic Substances, Amino Acids, Seaweed Extracts, Microbial Amendments), Crop Type (Fruits & Vegetables, Cereals, Turf & Ornamentals), Application Method, Form, and Region – Global Forecast to 2025; [consultado el 4

- de mar. de 2021]. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/biostimulant-market-1081.html>.
- Martínez C, Pons E, Prats G, León J. 2004. Salicylic acid regulates flowering time and links defence responses and reproductive development. *Plant J.* 37(2):209–217. eng. doi:10.1046/j.1365-313x.2003.01954.x.
- Mirón Pérez JJ. 2017. Cambio climático y riesgos alimentarios. *Revista de Salud Ambiental.* 17(1):47–56. es. <https://www.ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/835>.
- Morales CG. 2017. Uso de bioestimulantes: Manual de manejo agronomico del arandano. *Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias.* 43–47. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/6679>.
- Mulugeta T, Muhinyuza J-B, Gouws-Meyer R, Matsaunyane L, Andreasson E, Alexandersson E. 2020. Botanicals and plant strengtheners for potato and tomato cultivation in Africa. *Journal of Integrative Agriculture;* [consultado el 1 de jun. de 2021]. 19(2):406–427. doi:10.1016/S2095-3119(19)62703-6.
- Munns R, Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu Rev Plant Biol.* 59:651–681. eng. doi:10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911.
- Ngaufe B, Kugedera AT. 2019. Assesign effects of using different concentrations of garlic and chili extracts to control blights in tomatoes. *International Journal of Food & Nutrition.* 3(1):19–26. https://www.researchgate.net/profile/Andrew-Tapiwa-Kugedera/publication/334416566_Assessing_Effects_of_Using_Different_Concentrations_of_Garlic_and_Chilli_Extracts_to_Control_Blights_in_Tomatoes/links/5d28893da6fdcc2462d8849a/Assessing-Effects-of-Using-Different-Concentrations-of-Garlic-and-Chilli-Extracts-to-Control-Blights-in-Tomatoes.pdf.
- Olivares FL, Busato JG, Paula AM de, da Silva Lima L, Aguiar NO, Canellas LP. 2017. Plant growth promoting bacteria and humic substances: Crop promotion and mechanisms of action. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 4(1):1. doi:10.1186/s40538-017-0112-x.
- Olowe OM, Akanmu AO, Asemoloye MD. 2020. Exploration of microbial stimulants for induction of systemic resistance in plant disease management. *Ann Appl Biol.* 177(3):282–293. doi:10.1111/aab.12631.
- Owens S. 2001. Salt of the earth. Genetic engineering may help to reclaim agricultural land lost due to salinisation. *EMBO Rep.* 2(10):877–879. eng. doi:10.1093/embo-reports/kve219.
- Palazón P, editor. 2014. Bioestimulantes e inductores de resistencia en el control de las enfermedades de madera; España. [sin lugar]: [sin editorial]. http://www.winetech-sudoe.eu/files/04_Pedro_Palazon_Presentacion.pdf.
- Parađiković N, Vinković T, Vinković Vrček I, Žuntar I, Bojić M, Medić-Šarić M. 2011. Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: an example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum L.*) plants. *J Sci Food Agric.* 91(12):2146–2152. eng. doi:10.1002/jsfa.4431.

- Pascale S de, Rouphael Y, Colla G. 2018. Plant biostimulants: Innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. *Europ.J.Hortic.Sci.* 82(6):277–285. doi:10.17660/eJHS.2017/82.6.2.
- Pástor Pazmiño C, Concheiro L, Wahren J. 2017. ¿Quién decide lo que producimos, exportamos y consumimos?: Agriculturas alternativas en Latinoamérica: tipología, alcances y viabilidad para la transformación social-ecológica. Ciudad de México: Friedrich Ebert Stiftung. 46 p. (Análisis). ISBN: 978-9978-94-181-2.
- Pazmiño CP. 2017. Agriculturas alternativas en Latinoamérica: Tipología, alcances y viabilidad para la transformación social-ecológica. *Revista Biodiversidad.* 2–4.
- Pereira G, Cardoso Batista PS, Souza Cangussú LV de, Souza Cangussú LV de, Vansolini de Oliveira RE, Esdras Santiago W. 2020. Crescimento do sorgo sob diferentes formas de aplicação de bioestimulantes. *Rev. Act. Igu.* 9(3):83–93. doi:10.48075/actaiguaz.v9i3.24063.
- Pérez Vázquez A, Leyva Trinidad DA, Gómez Merino FC. 2018. Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Remexca.* 9(1):175–189. doi:10.29312/remexca.v9i1.857.
- Puglia D, Pezzolla D, Gigliotti G, Torre L, Bartucca ML, Del Buono D. 2021. The Opportunity of Valorizing Agricultural Waste, Through Its Conversion into Biostimulants, Biofertilizers, and Biopolymers. *Sustainability.* 13(5):2710. doi:10.3390/su13052710.
- Quintero E, Calero A, Perez Y, Enriquez L. 2018. Efecto de diferentes bioestimulantes en el rendimiento del frijol común [Artículo de Investigación]. Cuba: Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. https://www.researchgate.net/publication/328067022_Efecto_de_diferentes_bioestimulantes_en_el_rendimiento_del_frijol_comun.
- Rastogi A, Siddiqui A, Mishra BK, Srivastava M, Pandey R, Misra P, Singh M, Shukla S. 2013. Effect of auxin and gibberellic acid on growth and yield components of linseed (*Linum usitatissimum L.*). *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 13(2):136–143. doi:10.1590/S1984-70332013000200006.
- Rouphael Y, Colla G. 2018. Synergistic Biostimulatory Action: Designing the Next Generation of Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Front Plant Sci.* 9:1655. eng. doi:10.3389/fpls.2018.01655.
- Rouphael Y, Colla G. 2020. Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Front Plant Sci.* 11:40. eng. doi:10.3389/fpls.2020.00040.
- Sánchez YMP, Montero A, Arteaga MCJ, Pérez Y. 2007. Efecto de sustancias de origen botánico sobre plagas y enfermedades de la habichuela. *Centro Agrícola.* 34(3):87–90.
- Santoso D, Gunawan A, Budiani A, Sari DA, Priyono. 2018. Plant biostimulant to improve crops productivity and planters profit. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 183:12017. doi:10.1088/1755-1315/183/1/012017.
- Sarandón SJ, Flores CC. 2014. Agroecología. La Plata: D - Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 1 online resource (466). ISBN: 978-950-34-1107-0.

- Sasse JM. 1997. Recent progress in brassinosteroid research. *Physiol Plant*. 100(3):696–701. doi:10.1111/j.1399-3054.1997.tb03076.x.
- Schaafsma G. 2009. Safety of protein hydrolysates, fractions thereof and bioactive peptides in human nutrition. *Eur J Clin Nutr*. 63(10):1161–1168. eng. doi:10.1038/ejcn.2009.56.
- Shah Jahan M, Wang Y, Shu S, Zhong M, Chen Z, Wu J, Sun J, Guo S. 2019. Exogenous salicylic acid increases the heat tolerance in Tomato (*Solanum lycopersicum L*) by enhancing photosynthesis efficiency and improving antioxidant defense system through scavenging of reactive oxygen species. *Scientia Horticulturae*. 247:421–429. doi:10.1016/j.scienta.2018.12.047.
- Sobario F. 2001. Bioestimulantes en fertilización foliar. En: Melendez G, Molina E, editores. Fertilización foliar: principios y aplicaciones: Bioestimulantes en fertilización foliar. ACCS: ACCS. p. 110–127.
- Sobhy IS, Erb M, Sarhan AA, El-Husseini MM, Mandour NS, Turlings TCJ. 2012. Less is more: treatment with BTH and laminarin reduces herbivore-induced volatile emissions in maize but increases parasitoid attraction. *J Chem Ecol*. 38(4):348–360. eng. doi:10.1007/s10886-012-0098-6.
- Souza Campos T, Santos Souza W, Domingos de Oliveira V. 2020. Uso de bioestimulantes no incremento da produtividade de grãos. *Revista Agrotecnologia*; [consultado el 2 de abr. de 2021]. 11(1):9–15. <https://www.revista.ueg.br/index.php/agrotecnologia/article/view/9730/7285>.
- Tonconi Romero F. 2015. Respuesta del cultivo de pimiento (*Capsicum annum L.*) variedad candente a la aplicación de diferentes bioestimulantes en el CEA III Los Pichones [Tesis de investigación de campo]. Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1810>.
- Valencia Martinez EJ. 2012. Evaluación del efecto de biorreguladores para mejorar el amarre, rendimiento y calidad del fruto en tomate de árbol (*Solanum betaceum Cav.*) cultivar anaranjado gigante [Experimental]. Ecuador: Escuela Politecnica Del Ejercito. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/6067/T-ESPE-IASA%20I-004596.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- van Oosten MJ, Pepe O, Pascale S de, Silletti S, Maggio A. 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chem. Biol. Technol. Agric*. 4(1):3. doi:10.1186/s40538-017-0089-5.
- Vega Cuarán SG. 2020. Efecto de las altas temperaturas en plantas de interés agrícola de Ecuador y su relación con el cambio climático global. Ecuador: Quevedo-UTEQ.
- Vernieri P, Malorgio F, Tognoni, F. Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie). 2002. Use of biostimulants in production of vegetable seedlings. [sin lugar]: [sin editorial]. 75 p. (Colture Protette (Italy); vol. 31). ISBN: 0390-0444. Italian.
- Yakhin OI, Lubyaynov AA, Yakhin IA, Brown PH. 2016. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Front Plant Sci*. 7:2049. eng. doi:10.3389/fpls.2016.02049.

Yepes A, Buckeridge MS. 2012. Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global - revisión. Colomb. For. 14(2):213. doi:10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2011.2.a06.

Yousef AF, Youssef MA, Ali MM, Ibrahim MM, Xu Y, Mauro RP. 2020. Improved Growth and Yield Response of Jew's Mallow (*Corchorus olitorius L.*) Plants through Biofertilization under Semi-Arid Climate Conditions in Egypt. Agronomy. 10(11):1801. doi:10.3390/agronomy10111801.

Zhang Y, Li X. 2019. Salicylic acid: biosynthesis, perception, and contributions to plant immunity. Current Opinion in Plant Biology. 50:29–36. eng. doi:10.1016/j.pbi.2019.02.004.