



ARTÍCULO DE REVISIÓN

## Uso de bioestimulantes en cultivos sometidos a condiciones de estrés hídrico

### Use of biostimulants in crops subjected to water stress conditions

✉ Erik Alexander García Pérez<sup>1</sup>, ✉ Marcos Tulio García González<sup>1</sup>, ✉ Liuder Isidoro Rodríguez Coca<sup>1</sup>,  
✉ Dairy Esther García Pérez<sup>1</sup>, ✉ Idaileisy Lorenzo Marcial<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Sancti Spiritus "José Martí". Comandante Fajardo S/N, Sancti Spiritus 60100, Sancti Spiritus, Cuba

<sup>2</sup> Centro Universitario Municipal de Cabaiguán "Silverio Blanco", Sancti Spiritus, Cuba

#### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 06/05/2021

Aceptado: 25/01/2022

#### CONFLICTO DE INTERESES

No se declaran conflictos de intereses entre los autores

#### CORRESPONDENCIA

Erik Alexander Marcos Tulio García  
Pérez García González  
erikg7065@gmail.com  
mtgarciaalez@gmail.com



Cu-ID: <https://cu-id.com/2153/cag092222367>

#### RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de documentar los principales bioestimulantes utilizados en el mundo para mitigar los efectos del estrés hídrico, así como el efecto fisiológico, morfológico y bioquímico que estas sustancias provocan en los cultivos que han sido objetivos de estudio. Se realizó una revisión de artículos científicos publicados en revistas de alcance nacional e internacional, así como tesis de maestría y doctorados de diferentes universidades y centros científicos. La aplicación de bioestimulantes es una de las prácticas agrícolas más prometedoras para mitigar los efectos de la sequía en las plantas. En el mundo existen numerosos microorganismos, así como sustancias sintéticas o de origen natural que ejercen un efecto positivo en el desarrollo de los cultivos, sus rendimientos y tolerancia a la sequía. Pueden optimizar procesos bioquímicos, fisiológicos y anatómicos como regular la conductividad estomática, aumentar la concentración de prolina y osmolitos celulares, aumentar la eficiencia fotosintética, inducir la producción de proteínas LEA y enzimas antioxidantes, reducir el daño a la membrana celular, mantener el contenido hídrico de las hojas y aumentar la capacidad de exploración del suelo del sistema radicular.

**Palabras clave:** algas, brasinoesteroides, fisiología, microorganismos, quitosana

#### ABSTRACT

This work was carried out with the objective of documenting the main biostimulants used in the world to mitigate the effects of water stress, as well as the physiological, morphological and biochemical effect that these substances cause in the crops that have been studied. A review of scientific articles published in national and international journals, as well as master's and doctoral theses from different universities and scientific centers was carried out. The application of biostimulants is one of the most promising agricultural practices to mitigate the effects of drought on plants. There are numerous microorganisms in the world, as well as synthetic or naturally occurring substances that have a positive effect on crop development, yields and drought tolerance. They can optimize biochemical, physiological and anatomical processes such as regulating stomatal conductance, increasing the concentration of proline and cellular osmolytes, increasing

photosynthetic efficiency, inducing the production of LEA proteins and antioxidant enzymes, reducing cell membrane damage, maintaining leaf water content and increasing the soil exploration capacity of the root system.

**Keywords:** algae, brassinosteroids, physiology, microorganisms, chitosan

## INTRODUCCIÓN

Las plantas están sometidas continuamente a una multitud de eventos estresantes desde la germinación de la semilla. Durante todo el ciclo de vida pueden llegar a presentar signos de estrés, ya sea durante pocos minutos, días, semanas o meses. El estrés es la consecuencia de todo factor externo que influye sobre la planta y que puede limitar el funcionamiento de la misma (Lambers *et al.*, 2008).

Según la naturaleza del estrés, se pueden dividir en biótico y abiótico. Los primeros son causados por organismos que afectan el desarrollo y la productividad de las plantas, incluidos los insectos, bacterias, hongos y malezas, entre otros. Los segundos están generalmente vinculados con los componentes climáticos, edáficos y fisiográficos del medio ambiente, que puedan actuar como factores limitantes del crecimiento y supervivencia de las plantas (Bulgari *et al.*, 2019).

De acuerdo al actual escenario del cambio climático, las condiciones ambientales desfavorables, en particular la sequía, las temperaturas extremas, la salinidad de los suelos y la baja fertilidad de los suelos son responsables del 70 % de los bajos rendimientos de los cultivos (Wang *et al.*, 2003). Las prácticas para mitigar el estrés abiótico en plantas se basan principalmente en la elección de cultivares resistentes, la determinación del mejor periodo de crecimiento y la densidad de siembra, la racionalización de agua y fertilizantes y la aplicación de bioestimulantes (Mariani y Ferrante, 2017).

Para mitigar el estrés abiótico la determinación del mejor período y densidad de siembra no es suficiente, ya que determinados factores limitantes, sobre todo la sequía, pueden estresar al cultivo aun cuando se encuentre en el período de crecimiento óptimo (Bulgari *et al.*, 2019). La racionalización de fertilizantes y agua de riego mediante sistemas de agricultura de precisión, han dado muy buenos resultados en países desarrollados, pero su alto costo de inversión y la dependencia de tecnología, no permiten el acceso a los campesinos de países en desarrollo que son los más dependientes de la agricultura (Garcidueñas, 2002; Polanía *et al.*, 2009).

Por su parte, la obtención de un cultivar resistente al estrés abiótico lleva varios años de trabajo y solo puede aplicarse a determinado estrés y condiciones específicas debido a la enorme variabilidad genética existente entre las especies vegetales, la falta de conocimiento sobre el genoma de cultivares menores, las complejas respuestas desencadenadas por condiciones de estrés abiótico, y los

diferentes entornos de cultivo que no siempre se pueden tener en cuenta (Shah *et al.*, 2018).

Los bioestimulantes vegetales son productos obtenidos a partir de diferentes sustancias orgánicas o inorgánicas, microorganismos y/o sus metabolitos, que sean capaces de mejorar el crecimiento, la productividad de las plantas y mitigar los efectos negativos del estrés abiótico (Rouphael y Colla, 2018). Son productos fáciles de usar y poseen precios relativamente asequibles para los productores, reducen la dependencia de grandes aplicaciones de fertilizantes, optimizan el uso del agua en la planta y activan sus respuestas fisiológicas ante las adversidades del entorno. Es por ello que, actualmente la aplicación de bioestimulantes es una de las prácticas agrícolas con mayor auge para contrarrestar los efectos del estrés abiótico en los cultivos (Godlewska y Ciepiela, 2020).

Este trabajo se centró en documentar los principales bioestimulantes utilizados en el mundo para mitigar los efectos del estrés hídrico, así como el efecto fisiológico, morfológico y bioquímico que estas sustancias inducen en los cultivos que han sido objetivo de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración del artículo se utilizó el metabuscador Google Académico con el que se realizó una búsqueda en bases de datos internacionales tales como Scielo, ResearchGate, Springer y Elsevier. Se realizó una revisión de artículos científicos en revistas de alcance nacional e internacional como *Agronomy*, *Acta Physiologiae Plantarum*, *Plant Physiology and Biochemistry*, *Frontiers in Plant Science* y *Scientia Horticulturae*, así como publicaciones de artículos científicos, comunicaciones científicas, referencias bibliográficas, tesis de diploma, maestría y doctorado, publicados por universidades y centros investigativos cubanos e internacionales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estrés hídrico

La sequía es el tipo de estrés abiótico que más afecta la agricultura, sobre todo en los países en desarrollo (Verma y Deepti, 2016). La agricultura demanda alrededor del 69 % de todas las extracciones de agua en el mundo, mientras que esta cifra asciende a más del 80 % en los países en desarrollo.

Cuando una planta entra en estrés hídrico, hay dos factores que actúan al mismo tiempo en condiciones naturales: el calor y la carencia de agua en el suelo (o de baja humedad en la atmósfera). Estas condiciones ambientales

provocan la deshidratación de la célula. Mientras estas condiciones perduren, cesa la producción de ATP en las mitocondrias, se inhibe el crecimiento celular, se ralentiza la síntesis de proteínas y las moléculas proteicas ya existentes se destruyen más rápido de lo que se forman las nuevas moléculas, los ácidos nucleicos se hidrolizan, aumenta la permeabilidad de la membrana y las sustancias solubles en agua comienzan a salir de la célula (Vázquez y Torres, 1995).

Las plantas responden al estrés hídrico desarrollando evolutivamente adaptaciones tanto a nivel morfológico, como anatómico y celular, que les permiten vivir en condiciones de constante estrés hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996). Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, las plantas pueden presentar respuestas de aclimatación para disminuir los efectos desfavorables del déficit de agua, como el cierre de los estomas, la disminución de la expansión foliar y el aumento del crecimiento radicular (Shao *et al.*, 2008).

La respuesta de las plantas a diferentes tipos de estrés generalmente incluye la alteración en la expresión de proteínas. Entre las más importantes por su efecto protector potencial están las proteínas de shock térmico, las proteínas LEA (del inglés: *Late Embriogenesis Abundant Proteins*), las involucradas en las vías de síntesis de los osmolitos y las que funcionan como antioxidantes (Kotchoni y Bartels, 2003).

### Bioestimulantes

Los bioestimulantes son considerados herramientas agronómicas innovadoras, con efectos positivos en todos los cultivos agrícolas. El aumento de publicaciones científicas y su constante expansión en el mercado han demostrado que son productos versátiles, actúan en todas las plantas cultivadas con efectos positivos en su fisiología, rendimientos y tolerancia a situaciones ambientales estresantes (Rouphael y Colla, 2018). Pueden contribuir a mejorar las condiciones del suelo y actuar directamente sobre la fisiología y el metabolismo de las plantas (Caradonia *et al.*, 2019). Son capaces de modificar algunos procesos moleculares que permiten mejorar la eficiencia en el uso del agua y nutrientes, estimular el desarrollo de las plantas y contrarrestar el estrés abiótico al mejorar el metabolismo primario y secundario (Van Oosten *et al.*, 2017).

### Quitosana

Quitosana es un biopolímero de baja toxicidad y fácil obtención, cuyas propiedades están siendo exploradas en los campos de la farmacéutica y la agricultura (Zargar *et al.*, 2015). Este biopolímero está siendo usado cada vez con más frecuencia en el campo de las ciencias agrícolas como bioestimulantes, ya que es capaz de activar las defensas de las plantas contra agentes fitopatógenos (Hadwiger, 2015). Además, promueve el crecimiento y desarrollo de los cultivos bajo estrés abiótico, al inducir la activación del sistema antioxidante indicador de estrés acompañado de una disminución en la transpiración foliar (Pongprayoon *et al.*, 2013).

Estudios realizados por Veroneze-Júnior *et al.* (2019), con diferentes híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.) y bajo condiciones de estrés hídrico con aplicaciones foliares de quitosana a 100 ppm, demostraron que las aplicaciones de este bioestimulante no causaron diferencias significativas en el potencial hídrico de las plantas, pero aumentaron la actividad fotosintética, la eficiencia en los procesos de carboxilación y la conductancia estomática, reduciendo las principales limitaciones provocadas por el estrés hídrico en las plantas de maíz que no fueron tratadas con quitosana.

Investigadores del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Cuba (INCA) y de la Universidad de Granma evaluaron la respuesta de plantas de tomate cuyas semillas fueron tratadas por imbibición durante 2 h con formulaciones cubanas de quitosana. Los tratamientos mostraron un efecto bioestimulante en las plántulas, respecto al control embebido en agua, en las variables número de hojas, diámetro del tallo, altura, masa seca aérea y área foliar (Tabla 1).

La altura de las plantas, en el tratamiento de 1 g L<sup>-1</sup>, superó en un 57 % al control, mientras que las concentraciones de 0,5 y 1 g L<sup>-1</sup> de Quitomax® provocaron incrementos en la masa seca aérea de, aproximadamente, 59 y 129 %, respectivamente. De igual manera, los aumentos en el área foliar con ambas concentraciones fueron de más del 90 % (Falcón *et al.*, 2021).

### Microorganismos

En los bioestimulantes microbianos se incluyen un extenso grupo de microorganismos entre los que se

**Tabla 1.** Efecto del Quitomax® en el crecimiento de plantas de tomate (H 3019), mediante la imbibición de semillas (VA) (Falcón *et al.*, 2021)

Quitomax® (g L <sup>-1</sup> )	No. hojas	Diám. tallo (cm)	Altura (cm)	Long. radical (cm)	MS aérea (g)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )
0	5,31 c	0,40 bc	13,96 c	13,32 a	0,305 cd	102,2 b
0,1 (VA)	5,44 bc	0,38 bc	12,39 c	11,52 ab	0,235 d	130,22 b
0,5 (VA)	6,25 ab	0,38 bc	18,02 b	12,83 a	0,484 ab	196,92 a
1,0 (VA)	6,62 a	0,48 a	24,53 a	13,50 a	0,698 a	195,64 a
ESx	0,21	0,13	0,54	0,47	0,04	9,056

encuentran las bacterias, levaduras, hongos filamentosos y microalgas. Su aplicación incrementa la productividad del suelo, al aumentar la capacidad de captar nutrientes por las raíces de las plantas, fijan el nitrógeno atmosférico y sus metabolitos pueden inducir en las plantas la síntesis de hormonas, e incrementar la tolerancia a estrés. Dentro de este grupo de microorganismos, las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) son los que muestran una mayor capacidad de aliviar los efectos del estrés abiótico al estimular la actividad física, química y fisiológica de los cultivos (Turan *et al.*, 2017).

Un experimento realizado por Abril *et al.* (2017), en pasto de guinea (*Megathyrsus maximus* Jacq.) bajo estrés hídrico, donde se realizaron tratamientos con *Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn y *Bacillus megaterium* (de Bary) Gupta *et al.* mostraron un aumento del volumen y el largo de las raíces de las plantas inoculadas en un 23 % sobre los valores del control, con lo que se incrementa la exploración del suelo, el alcance de agua a mayores profundidades y la tolerancia al déficit hídrico del suelo.

Estudios realizados en plantas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) tratadas con biofertilizante Azofert®-F, a base de *Rhizobium radiobacter* (Beijerinck and van Delden) Young *et al.* en condiciones de sequía, mostraron la capacidad del Azofert®-F para aliviar los efectos del estrés hídrico en las plantas, disminuyendo el tamaño de los estomas y aumentando el índice estomático, regulando de esta forma la pérdida de agua por transpiración (Tabla 2) (Estrada-Prado *et al.*, 2021).

Kour *et al.* (2020) realizaron investigaciones con mijo (*Setaria italica* L.), cultivado en condiciones de estrés hídrico y deficiencia de fósforo. Estos investigadores inocularon sus cultivos con *Acinetobacter calcoaceticus* (Beijerinck) Baumann *et al.* y *Penicillium* sp. logrando una mayor eficiencia adaptativa a las condiciones de estrés a las que estaban sometidos. La inoculación con estos microorganismos disminuyó los niveles de peroxidación lipídica y aumentó la acumulación de glicina-betaína, prolina y azúcares en el interior de las células.

Resultados similares alcanzaron las investigaciones realizadas por Chandra *et al.* (2020), donde inocularon cepas de *Variovorax paradoxus* (Davis) Willems *et al.*, *Ochrobactrum anthropi* Holmes *et al.* y *Pseudomonas fluorescens* Migula en plantas de mijo africano (*Eleusine coracana* Gaertn.) sometidas a déficit hídrico. Los resultados mostraron que estas bacterias producen la enzima ACC desaminasa, cuya acción en la fisiología de la planta ayuda a la mitigación de los efectos del estrés hídrico. En esta investigación, la acción conjunta de las bacterias elevó los niveles de catalasa y superóxido dismutasa en un 12,4 y un 5,7 %, respectivamente. Los niveles de prolinas y osmolitos celulares se incrementaron en un 16 % y se redujeron los valores de malondialdehído en un 24 %.

Por su parte, Bécquer *et al.* (2018) demostraron que la inoculación combinada de *Bradyrhizobium* sp. y *Trichoderma harzianum* Rifai incrementan la tolerancia a condiciones de sequía en el híbrido Tifton 85 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.). Las plantas inoculadas con estos microorganismos alcanzaron incrementos de un 30 % en el

**Tabla 2.** Respuesta de la densidad estomática y el índice estomático en la epidermis abaxial de dos cultivares de frijol común: ‘CC-25-9’ como tolerante a la sequía y ‘Tomeguín-93’ como susceptible, con y sin inocular con Azofert®-F y expuestos a dos niveles de humedad, a los 24 y 31 días después de la siembra (dds) (Estrada-Prado *et al.*, 2021)

Tratamientos	Densidad estomática (u(mm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> )		Índice estomático (%)	
	24 dds	31 dds	24 dds	31 dds
<b>cultivar ‘CC-25-9’</b>				
H1Az	14,60 c	20,63 c	21,79 c	25,99 c
H1noAz	9,05 d	15,87 d	15,93 d	22,71 d
H2Az	24,29 a	30,16 a	27,65 a	30,16 a
H2noAz	19,68 b	25,40 b	25,08 b	28,06 b
ESx	0,78**	0,67**	0,55**	0,44**
<b>cultivar ‘Tomeguín-93’</b>				
H1Az	12,70 c	19,05 c	19,99 c	24,99 c
H1noAz	7,94 d	14,29 d	14,66 d	21,41 d
H2Az	22,86 a	28,57 a	26,95 a	29,50 a
H2noAz	17,46 b	23,81 b	23,39 b	27,26 b
ESx	0,73**	0,67**	0,77**	0,57**

Az: Inoculado con Azofert®-F; noAz: no inoculado con Azofert®-F; H1: humedad al 100 %; H2: humedad al 50 %

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de rangos múltiples de Duncan para P≤0,05

contenido de masa seca aérea y 42,1 % de biomasa total con respecto al control.

**Brasinoesteroides**

Los brasinoesteroides son sustancias naturales que juegan diferentes roles dentro de la fisiología de las plantas, incluido el incremento de la tolerancia al estrés abiótico. Experimentos realizados por Lima y Lobato (2017), evaluaron la acción de tres dosis de 24-epibrasinólida en plantas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L.) sembrado bajo condiciones de déficit hídrico. Los resultados mostraron que aplicaciones de este brasinoesteroide, a 100 nM, incrementaron significativamente la eficiencia del fotosistema PSII, al aumentar los niveles de clorofila a, clorofila b y clorofilas totales en 26, 58 y 33 %, respectivamente.

Investigaciones similares realizadas por Dos Santos et al. (2019), en plantas de soja (*Glycine max* L.) sometidas a estrés hídrico, demostraron que aplicaciones de 100 nM de 24- epibrasinólida (EBR) promovieron el aumento del sistema radicular (Tabla 3) y el contenido de materia seca. Además, se observó una reducción en los daños de la membrana y las concentraciones de especies reactivas del oxígeno, y se incrementaron los niveles de enzimas antioxidantes (catalasas, superóxido dismutasas y peroxidasas).

**Extractos de algas**

Los extractos de algas marinas están siendo usados en la agricultura como bioestimulantes por su capacidad de aumentar el crecimiento de las plantas, potenciar la tolerancia a estrés biótico y abiótico, aumentar la actividad fotosintética e incrementar los rendimientos en la gran mayoría de los cultivos (Sharma et al., 2014).

Estudios realizados por Goñi et al. (2018), con bioestimulantes a base de extractos de algas de la especie

*Ascophyllum nodosum* L., mostraron un incremento en la tolerancia al estrés hídrico en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivar ‘Moneymaker’. En este estudio, se determinó que este bioestimulante induce la estabilidad del contenido hídrico relativo con lo que se mantiene el crecimiento de la planta, aún en condiciones estresantes (Tabla 4), y actúa como regulador de las proteínas LEA y del potencial osmótico.

**Tabla 4.** Efecto del estrés hídrico y la aplicación de extractos de *Ascophyllum nodosum* sobre los niveles de contenido hídrico relativo en las hojas de plantas de tomate cv. ‘Moneymaker’ (Goñi et al., 2018).

Tiempo de muestreo	Tratamientos		
	Control sin estrés	Control estresado	Plantas estresadas con aplicación de extractos
T0	76,24 ± 0,70 a	76,43 ± 1,16 a	76,48 ± 1,26 a
T1	76,58 ± 0,39 c	65,48 ± 0,14 a	73,05 ± 0,74 b
T2	76,54 ± 1,19 a	75,43 ± 1,16 a	76,00 ± 1,58 a

Los datos son las medias ± SD (n = 9)

Letras minúsculas diferentes dentro de la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos con base en la prueba Tukey-HSD (P≤0,05)

En plantas de soja, los extractos de esta alga aumentaron la tolerancia al estrés hídrico al regular la temperatura foliar, aumentar la conductividad estomática y mantener durante el período de estrés hídrico una apertura parcial de los estomas, mostrando altos índices de eficiencia del agua (Shukla et al., 2019 ). Mientras que en el cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea* L.), bajo una norma de riego de solo el 50 % del agua recomendada para el cultivo, se lograron aumentos del 6 % del contenido de agua foliar y un

**Tabla 3.** Anatomía de la raíz de plantas de soja tratadas con 24-epibrasinólida y expuestas a estrés hídrico (Dos Santos et al., 2019)

Condición hídrica	EBR (nM)	RET (µm)	RDT (µm)	RCT (µm)	VCD (µm)	RMD (µm)
Control	0	10,0 ± 0,7 Aa	16,7 ± 0,6 Aa	312 ± 25 Aa	300 ± 11 Ba	30,8 ± 1,5 Ca
Control	50	10,2 ± 0,7 Aa	16,7 ± 0,8 Aa	318 ± 19 Aa	302 ± 10 Ba	37,6 ± 1,3 Ba
Control	100	10,6 ± 0,8 Aa	17,3 ± 0,3 Aa	329 ± 14 Aa	327 ± 11 Aa	41,4 ± 1,1 Aa
Déficit hídrico	0	8,2 ± 0,4 Bb	14,7 ± 0,4 Bb	230 ± 14 Bb	176 ± 12 Cb	19,4 ± 1,4 Ab
Déficit hídrico	50	8,6 ± 0,5 Bb	15,9 ± 0,3 Aa	260 ± 18 Ab	215 ± 12 Bb	21,5 ± 1,7 Ab
Déficit hídrico	100	9,9 ± 0,3Aa	16,5 ± 0,5 Aa	265 ± 23 Ab	243 ± 10 Ab	22,3 ± 1,8 Ab

EBR: 24- epibrasinólida; RET: grosor de la epidermis de la raíz RET; RDT: grosor de la endodermis de la raíz; RCT: grosor de la corteza de la raíz RCT; VCD: diámetro del cilindro vascular VCD; RMD: diámetro del metaxilema de la raíz

Las columnas con letras mayúsculas diferentes entre los niveles de EBR (0, 50 y 100 nM EBR en condiciones de agua iguales) y letras minúsculas entre las condiciones de agua (control y déficit de agua en concentraciones de EBR iguales) indican diferencias significativas con respecto a la prueba de Scott-Knott (P<0,05)

incremento del área foliar entre un 21-38 % por encima del control (Xu y Leskovar, 2015).

## CONCLUSIONES

Los bioestimulantes son una herramienta efectiva, de efecto a corto plazo y sostenible en el tiempo, que permite lograr un buen desarrollo, alta productividad y aumentar la tolerancia de los cultivos al estrés abiótico. La enorme variedad de las materias primas usadas en la producción de bioestimulantes, así como la complejidad de su efecto en la bioquímica, fisiología y anatomía de las plantas, hace que sea difícil atribuir un modo de acción específico para cada sustancia. En el futuro, con las nuevas herramientas investigativas que se van innovando en el transcurso de los años y el incremento de resultados científicos, se podrá llegar a conocer a mayor profundidad el modo de acción de estos productos y la posibilidad de combinarlos o emplearlos en determinada etapa fenológica de un cultivo, para de esta forma, obtener el máximo potencial que pueden brindar los bioestimulantes en la esfera agrícola.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

**Erik Alexander García Pérez:** Supervisar y liderar la planificación y ejecución de las actividades de la investigación, incluida la tutoría del equipo. Fue el responsable de la conservación de datos y anotaciones realizadas.

**Marcos Tulio García González:** Revisión crítica del borrador y recomendó modificaciones, supresiones y adiciones en el mismo. Conceptualizó y formuló los objetivos de la investigación.

**Liuder Isidoro Rodríguez Coca:** Proveen los materiales y recursos necesarios para la ejecución de la investigación.

**Dairy Esther García Pérez:** Contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado. Fue responsable de la rectificación de los señalamientos realizados por los árbitros y Consejo Editorial.

**Idaileisy Lorenzo Marcial:** Responsable de escribir el manuscrito publicado, específicamente la redacción del borrador. Fue responsable de la rectificación de los señalamientos realizados por los árbitros y Consejo Editorial.

## BIBLIOGRAFÍA

ABRIL, J. L., RONCALLO, B. y BONILLA, R. 2017. Efecto de la inoculación con bacterias del género *Bacillus* sobre

el crecimiento de *Megathyrus maximus* Jacq, en condiciones de estrés hídrico. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 37 (1): 25-37.

BÉCQUER-GRANADOS, C. J., ÁVILA-CORDOVÍ, U., NÁPOLES-GÓMEZ, J. Á., *et al.* 2018. Productividad de bermuda Tifton 85, inoculada con *Bradyrhizobium* sp. y *Trichoderma harzianum*, sometida a estrés de sequía agrícola. *Pastos y Forrajes*, 41(3): 196-201.

BULGARI, R., FRANZONI, G. and FERRANTE, A. 2019. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, 9(6): 306.

CARADONIA, F., BATTAGLIA, V., RIGHI, L., *et al.* 2019. Plant biostimulant regulatory framework: prospects in Europe and current situation at international level. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38: 438-448.

CHANDRA, D., SRIVASTAVA, R., GLICK, B. R., *et al.* 2020. Rhizobacteria producing ACC deaminase mitigate water-stress response in finger millet (*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.). *3 Biotech*, 10: 1-15.

DOS SANTOS, R., GOMES, D., DA SILVA, B., *et al.* 2019. Brassinosteroids induce tolerance to water deficit in soybean seedlings: contributions linked to root anatomy and antioxidant enzymes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41 (6): 1-11.

ESTRADA-PRADO, W., CHÁVEZ-SUÁREZ, L., MACEO-RAMOS, Y. C., *et al.* 2021. Efecto del Azofert®-F en la respuesta estomática del frijol ante el déficit hídrico. *Agronomía Mesoamericana*, 32 (2): 442-451.

FALCÓN, A. B., GONZÁLEZ-PEÑA, D., NÁPOLES, M. C., *et al.* 2021. Oligosacarinas como bioestimulantes para la agricultura cubana. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 11 (1): 1-11.

GARCIDUEÑAS, M. R. 2002. Conceptos evolutivos y genéticos. *CIENCIA UANL*, 5 (4): 471.

GODLEWSKA, A. and CIEPIELA, G. A. 2020. Yield performance and content of selected organic compounds in trifolium pratense treated with various biostimulants against the background of nitrogen fertilisation. *Legume Research: An International Journal*, 43 (6): 850-855.

GOÑI, O., QUILLE, P. and O'CONNELL, S. H. 2018. *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126: 63-73.

- HADWIGER, L. A. 2015. Anatomy of a nonhost disease resistance response of pea to *Fusarium solani*: PR gene elicitation via DNase, chitosan and chromatin alterations. *Frontiers in Plant Science*, 6: 373.
- KOTCHONI, S. O. and BARTELS, D. 2003. Water stress induces the up-regulation of a specific set of genes in plants: aldehyde dehydrogenase as an example. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*; 2003: 37-51.
- KOUR, D., RANA, K. L., YADAV, A. N., *et al.* 2020. Amelioration of drought stress in Foxtail millet (*Setaria italica* L.) by P-solubilizing drought-tolerant microbes with multifarious plant growth promoting attributes. *Environmental Sustainability*, 3: 23-34.
- LAMBERS, H., CHAPIN, F. S. and PONS, T. L. 2008. *Plant Physiological Ecology*. Springer Science & Business Media, New York, USA, 99 p.
- LIMA, J. V. and LOBATO, A. K. S. 2017. Brassinosteroids improve photosystem II efficiency, gas exchange, antioxidant enzymes and growth of cowpea plants exposed to water deficit. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23 (1): 59-72.
- MARIANI, L. and FERRANTE, A. 2017. Agronomic management for enhancing plant tolerance to abiotic stresses-drought, salinity, hypoxia, and lodging. *Horticulturae*, 3 (4): 52.
- NILSEN, E. T. and ORCUTT, D. M. 1996. *Physiology of Plants Under Stress. Abiotic Factors*. John Wiley and Sons, Hoboken, Nueva Jersey, USA, 689 p.
- POLANÍA, J. A., RAO, I. M., BEEBE, S., *et al.* 2009. Desarrollo y distribución de raíces bajo estrés por sequía en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en un sistema de tubos con suelo. *Agronomía Colombiana*, 27 (1): 25-32.
- PONGPRAYOON, W., ROYTRAKUL, S., PICHAYANGKURA, R., *et al.* 2013. The role of hydrogen peroxide in chitosan-induced resistance to osmotic stress in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Growth Regulation*, 70 (2): 159-173.
- ROUPHAEL, Y. and COLLA, G. 2018. Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9: 1655.
- SHAH, L. R., SHARMA, A., NABI, J., *et al.* 2018. Breeding approaches for abiotic stress management in vegetable crops. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7 (3): 1023-1028.
- SHAO, H. B., CHU, L. Y., JALEEL, C. A., *et al.* 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331 (3): 215-225.
- SHARMA, H. S., FLEMING, C., SELBY, C., *et al.* 2014. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*, 26: 465-490.
- SHUKLA, P. S., MANTIN, E. G., ADIL, M., *et al.* 2019. Ascophyllum nodosum-based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. *Frontiers in Plant Science*, 10: 655.
- TURAN, M., YILDIRIM, E., KITIR, N., *et al.* 2017. Beneficial role of plant growth-promoting bacteria in vegetable production under abiotic stress. *En: Zaidi, A. and Saghir Khan, M. (Eds.). Microbial Strategies for Vegetable Production*. Springer Cham, Suiza, pp. 151-166.
- VAN OOSTEN, M. J., PEPE, O., DE PASCALE, S., *et al.* 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4: 1-12.
- VÁZQUEZ, E. y TORRES, S. 1995. *Fisiología vegetal*. Editorial Pueblo y Educación, Segunda edición, Ciudad de La Habana, Cuba, 63 p.
- VERMA, A. K. and DEEPTI, S. 2016. Abiotic stress and crop improvement: current scenario. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 4 (4): 00149.
- VERONEZE-JÚNIOR, V., MARTINS, M., MC LEOD, L., *et al.* 2019. Leaf application of chitosan and physiological evaluation of maize hybrids contrasting for drought tolerance under water restriction. *Brazilian Journal of Biology*, 80: 631-640.
- WANG, W., VINOCUR, B. and ALTMAN, A. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218 (1): 1-14.
- XU, CH. and LESKOVAR, D. I. 2015. Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 183: 39-47.

ZARGAR, V., ASGHARI, M. and DASHTI, A. 2015. A review on chitin and chitosan polymers: structure,

chemistry, solubility, derivatives, and applications. *ChemBioEng Reviews*, 2 (3): 204-226.

---



Artículo de libre acceso bajo los términos de una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre que la obra sea debidamente citada.