

Efecto de bioestimulantes foliares en la tolerancia al estrés abiótico en cultivos de *Raphanus sativus*

Effect of foliar biostimulants on tolerance to abiotic stress in *Raphanus sativus* crops

Para citar este trabajo:

Sarango, Y., y Chenche, O., (2024) Efecto de bioestimulantes foliares en la tolerancia al estrés abiótico en cultivos de *Raphanus sativus*. *Reincisol*, 3(6), pp. 4420-4442.
[https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)4420-4442](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)4420-4442)

Autores:

Yessenia Beatriz Sarango Ortega

Universidad Estatal de Milagro
Ciudad: Milagro, País: Ecuador
Correo Institucional: ysarangoo@unemi.edu.ec
Orcid <https://orcid.org/0000-0001-7042-0623>.

Oscar Mauricio Chenche López

Universidad Estatal de Milagro
Ciudad: Milagro, País: Ecuador
Correo Institucional: ochenchel@unemi.edu.ec
Orcid <https://orcid.org/0009-0005-6302-3749>.

RECIBIDO: 28 septiembre 2024

ACEPTADO: 15 octubre 2024

PUBLICADO: 3 noviembre 2024

Resumen

Los bioestimulantes ayudan a mitigar los efectos negativos del estrés abiótico, facilitando la absorción de nutrientes por las plantas. Este estudio evaluó el efecto de dos bioestimulantes aplicados de forma foliar al 10%: extracto de *Aloe vera* y macroalgas, en el desarrollo de *Raphanus sativus* sometido a estrés abiótico. Se germinaron 100 semillas de rábano rojo *crimson giant* y se trasplantaron en un diseño experimental con cuatro tratamientos y cinco réplicas. El T1, T2, y T3 fueron sometidos a estrés abiótico, mientras que el T0 sirvió de control. El extracto de *Aloe vera* aplicado al T2 fue 1 mesófilo de la sábila mediante extracción con etanol y posterior liofilización. El bioestimulante comercial *VustereQ*, a base de macroalgas, fue aplicado al T3. Los resultados mostraron que tanto T2 como T3 presentaron un crecimiento similar en variables como la longitud de la planta, el diámetro del bulbo y el peso seco. Sin embargo, el T3 fue el más efectivo en el desarrollo radicular, mientras que el T2 favoreció el desarrollo foliar. Se concluye que el bioestimulante de *Aloe vera* es el más eficaz para estimular el crecimiento bajo condiciones de estrés hídrico, salino y térmico.

Palabras claves: bioestimulante., *Aloe vera*., macroalgas., estrés abiótico

Abstract

Biostimulants help mitigate the negative effects of abiotic stress, facilitating the absorption of nutrients by plants. This study evaluated the effect of two biostimulants applied foliarly at 10%: Aloe vera extract and macroalgae, on the development of *Raphanus sativus* subjected to abiotic stress. 100 crimson giant red radish seeds were germinated and transplanted in an experimental design with four treatments and five replicates. T1, T2, and T3 were subjected to abiotic stress, while T0 served as a control. The Aloe vera extract applied to T2 was obtained from the aloe vera mesophyll by extraction with ethanol and subsequent freeze-drying. The commercial biostimulant VustereQ, based on macroalgae, was applied to T3. The results showed that both T2 and T3 presented similar growth in variables such as plant length, bulb diameter and dry weight. However, T3 was the most effective in root development, while T2 favored foliar development. It is concluded that the Aloe vera biostimulant is the most effective to stimulate growth under conditions of water, saline and thermal stress.

Keywords: biostimulant., Aloe vera., macroalgae., abiotic stress

INTRODUCCIÓN

La agricultura es un pilar esencial para el suministro alimentario global, y su sostenibilidad es crucial para las generaciones futuras. Sin embargo, el aumento de la demanda de alimentos ha provocado la sobreexplotación de los recursos naturales, exacerbando el cambio climático y afectando negativamente los ecosistemas. Las condiciones ambientales extremas, como la sequía, fluctuaciones de temperatura, alta salinidad y exceso de agua, generan estrés abiótico en las plantas, reduciendo su productividad (FAO, 2020). Para contrarrestar estos efectos, los avances en tecnología agrícola han dado lugar a fertilizantes y bioestimulantes que han incrementado la producción. No obstante, el uso intensivo de productos químicos ha generado impactos ambientales adversos, lo que fomenta la búsqueda de alternativas sostenibles, como los bioestimulantes de origen biológico (Caballero Molada, 2016).

Los bioestimulantes, elaborados principalmente a partir de extractos vegetales, algas y otros productos naturales, mejoran la resistencia de las plantas al estrés abiótico mediante la regulación de procesos fisiológicos y morfológicos. Estas sustancias no solo favorecen la absorción de nutrientes y la calidad del cultivo, sino que también estimulan la expresión génica y la actividad metabólica de las plantas (Veobides-Amador et al., 2018). Entre los bioestimulantes más utilizados destacan los extractos de algas, ricos en metabolitos bioactivos, y el extracto de *Aloe vera*, que contiene fitohormonas y aminoácidos promotores del crecimiento (Espinosa-Antón et al., 2021; Salazar et al., 2023). Ambos productos han mostrado gran potencial para mejorar la tolerancia de las plantas al estrés abiótico, incluyendo condiciones de sequía, salinidad y temperaturas extremas.

Este estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de bioestimulantes foliares en el desarrollo del cultivo de rábano (*Raphanus sativus*) tras la exposición a estrés abiótico. Para ello, se busca determinar la capacidad bioestimulante del extracto de *Aloe vera* y comparar su eficacia con un producto comercial a base de macroalgas. Además, se pretende analizar cómo el extracto de *Aloe vera* mejora la resistencia de las plantas en condiciones de estrés hídrico, salino y térmico, y en qué medida estos tratamientos influyen en el crecimiento y desarrollo del cultivo post-cosecha.

Composición de Aloe vera

Aloe vera (*Aloe barbadensis* Mill), perteneciente a la familia *Asphodelaceae*, es conocida por su capacidad de adaptarse a regiones tropicales y subtropicales. Utilizada desde la antigüedad en diversas civilizaciones, su aplicación ha sido documentada en la medicina tradicional por sus propiedades curativas, antisépticas y antiinflamatorias (Manvitha y Bidya, 2014). Los estudios contemporáneos han confirmado su acción antibacteriana, antiviral y antioxidante (Sánchez-Machado et al., 2017), además de su potencial en la agricultura como bioestimulante natural, gracias a su rica composición de aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales que promueven el crecimiento celular (Acosta, 2015). El investigador Hamman, (2008) realizó un análisis completo de los compuestos que posee el gel, identificando la presencia de dieciocho aminoácidos esenciales, doce vitaminas, siete enzimas, presencia de polisacáridos y veinte minerales de los cuales destacan el hierro, calcio, zinc, magnesio, sodio, cobre y potasio.

Raphanus Sativus L

El cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.), originario de la cuenca mediterránea y Asia, es una planta que prospera en climas templados, siendo sensible a la salinidad (InfoAgro, 2019). En la taxonomía de este cultivo, clasificado en la familia *Brassicaceae*, se destacan características morfológicas adaptativas frente a condiciones de estrés abiótico, como la sequía, salinidad y temperaturas extremas (Méndez-Espinoza y Vallejo Reyna, 2019). Estos factores abióticos, exacerbados por el cambio climático, afectan la productividad agrícola, promoviendo la necesidad de estrategias como el uso de bioestimulantes para mitigar los efectos negativos (Taiz et al., 2021).

Tabla 1. Taxonomía de rábano (*Raphanus Sativus L.*)

Especie	<i>Raphanus Sativus L.</i>
Dominio	Vegetal
Reino	<i>Plantae</i>

Familia	<i>Brassicaceae</i>
Género	<i>Raphanus</i>
Clase	Angiosperma
División	<i>Tracheophyta</i>
Orden	<i>Brassicales</i>

Fuente: (Terry Alfonso et al., 2014)

Condiciones de Estrés Abiótico

El estrés abiótico comprende un conjunto de factores ambientales que impactan adversamente el crecimiento y desarrollo de las plantas, resultando en una disminución del rendimiento y la calidad de los cultivos. Entre estos factores se incluyen la sequía, salinidad, variaciones extremas de temperatura, radiación ultravioleta, contaminación, así como deficiencias nutricionales o toxicidad. Estos elementos pueden actuar de manera aislada o en combinación, causando daños a nivel celular y molecular que alteran tanto el metabolismo como la fisiología vegetal (Méndez-Espinoza y Vallejo Reyna, 2019).

Ante condiciones desfavorables, las plantas suelen implementar una serie de mecanismos de adaptación y tolerancia. Estos mecanismos incluyen modificaciones en la expresión génica, síntesis de metabolitos protectores, ajustes en la homeostasis salina, regulación en el transporte de iones, alteraciones en la anatomía vegetal y activación de señales hormonales y defensivas, permitiendo así su supervivencia y recuperación (Taiz et al., 2021).

Estos mecanismos son cruciales para enfrentar los diferentes tipos de estrés abiótico, como el estrés salino, hídrico y térmico, que afectan negativamente el crecimiento y desarrollo de las plantas.

- Estrés Salino: es el aumento de la salinidad en el suelo, principalmente por la acumulación de cloruro de sodio y sulfato de sodio, lo que reduce la

capacidad hídrica de las plantas. Este fenómeno puede ser ocasionado por causas naturales, como el cambio climático, o por actividades humanas que generan contaminación (Rodríguez Ledesma et al., 2019).

- Estrés Hídrico: afecta severamente a los cultivos, es causado por sequías y se ve agravado por temperaturas extremas y alta salinidad del suelo. Las plantas responden adaptativamente a esta deficiencia hídrica, lo que puede incluir el cierre de estomas y reducción en la expansión foliar (Cardona-Ayala et al., 2013; Peña-Rojas et al., 2018).
- Estrés Térmico: ocurre cuando las plantas son expuestas a temperaturas elevadas durante períodos prolongados, lo que puede comprometer su desarrollo y causar daños irreversibles. La tolerancia térmica varía entre especies, y el impacto depende de la intensidad y duración del estrés (Asseng et al., 2015; Khatun et al., 2015).

Bioestimulantes

Los bioestimulantes son sustancias o microorganismos aplicados a plantas o suelos que mejoran el crecimiento y desarrollo de los cultivos al incrementar su tolerancia al estrés biótico y abiótico, y optimizar la absorción de nutrientes y el uso del agua. Su origen puede ser natural o sintético, y pueden presentarse en diversas formas (líquidos, polvos o gránulos), contribuyendo a reducir la dependencia de fertilizantes y pesticidas químicos, y minimizando el impacto ambiental en la agricultura (Veobides-Amador et al., 2018; du Jardín, 2015).

Derivados de *Aloe vera* y macroalgas como *Ascophyllum nodosum* han demostrado ser especialmente eficaces al promover la fotosíntesis y la adaptación a condiciones de estrés. Además, contribuyen a la sostenibilidad agrícola al reducir la necesidad de insumos químicos y mejorar la calidad del suelo (Veobides-Amador et al., 2018; Espinosa-Antón et al., 2021).

Propiedades de los bioestimulantes

Extractos de algas - *Ascophyllum nodosum*

Los bioestimulantes derivados de algas, como *Ascophyllum nodosum*, son biodegradables y respetuosos con el medio ambiente, sin generar residuos tóxicos. Estos extractos contienen reguladores de crecimiento vegetal, micro y macronutrientes, y compuestos bioactivos como aminoácidos, ácidos grasos y polisacáridos sulfatados. *Ascophyllum nodosum* mejora el sistema radicular, el crecimiento vegetativo y la calidad de los frutos, además de ayudar a las plantas a recuperarse del estrés (Espinosa-Antón et al., 2021; Monge-Pérez y Loría-Coto, 2022).

Extracto de Aloe vera

El bioestimulante a base de extracto de *Aloe vera* es un compuesto natural que promueve el crecimiento y la salud vegetal. Contiene aminoácidos, vitaminas, enzimas y fitohormonas, las cuales activan el metabolismo de las plantas, mejoran la absorción de nutrientes, incrementan la tolerancia al estrés abiótico y biótico, y contribuyen a la prevención de enfermedades. Su aplicación, tanto foliar como radicular, es efectiva en diversas etapas fenológicas y cultivos. Este bioestimulante optimiza la calidad, rendimiento y valor nutricional de las cosechas, mejorando también sus propiedades organolépticas (Miranda Pérez et al., 2023).

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas, caracterizada por un clima tropical con una temperatura media anual de 25.1 °C y una precipitación aproximada de 2321 mm. La preparación del extracto de *Aloe vera* para su uso en cultivos de rábano sometidos a estrés abiótico se llevó a cabo dentro de un laboratorio.

Tabla 2. *Insumos y reactivos utilizados en la investigación*

Semillas de rábano rojo crimson giant (<i>Raphanus sativus</i>)	Tierra de sembrado (82 kg)	Alcohol 95%
Hoja de sábila	Tierra bioabor (80 kg)	Hipoclorito de sodio 0.3%

Macro-algas (Bioestimulante VustereQ)	Agua destilada	Silica
Elaborado por autores		

Herramientas utilizadas

Tabla 3. Equipos utilizados en la investigación

Termómetro	Estufa eléctrica	Termocupla
Bomba de vacío	Licuadaora	Termómetro
Elaborado por autores		

Tabla 4. Instrumentos utilizados en la investigación

Desecador	Filtro de tela	Tijera
Vasos precipitados	Matraz	Jarra medidora
Agitador de vidrio	Espátula	Cuchillo
Kitasato	Botella de plástico ámbar	Cuchara de metal
Embudo Büchner	Envase plástico transparente	Cama germinadora
Matraz	Atomizador	Cama de cultivo
Filtro Watman N°52	Papel aluminio	Calibrador
Cernidera de aluminio	Plástico	
Elaborado por autores		

Tratamientos

Para el desarrollo del estudio, se germinaron 100 semillas de rábano rojo (*Raphanus sativus*, variedad Crimson Giant) en un semillero durante 7 días, tras lo cual fueron trasplantadas a camas de cultivo donde se someterán al estrés abiótico. El experimento consistió en 4 tratamientos, con 5 réplicas y 5 unidades

experimentales por repetición, para un total de 100 plántulas, separadas entre sí por 15 cm.

Los extractos se aplicaron en una dilución del 10% en los tratamientos T2 y T3. Los tratamientos T1, T2 y T3 fueron sometidos a estrés abiótico hasta la cosecha, mientras que el tratamiento T0 sirvió como control, sin exposición a estrés, bajo condiciones óptimas para maximizar la producción.

Tabla 5. Descripción de tratamientos aplicados al cultivo.

Tratamiento	Concentración	Estrés abiótico	Aplicación	Días de aplicación
T0	Control	No	-----	-----
T1	Control	Si	-----	-----
T2	10 % Extracto de A. vera	Si	Foliar	1, 13, 23 días
T3	10 % Extracto de macro- algas	Si	Foliar	1, 13, 23 días

Nota: las aplicaciones de los extractos fueron posterior al trasplante, siendo el día 1 el trasplante y la primera aplicación. Elaborado por autores.

Preparación de bioestimulantes

Macro-algas (*Ascophyllum Nodosum*)

El extracto comercial a base de macro-algas VUSTERQ extraído de la fermentación de las cepas de (*Ascophyllum Nodosum*) fue proporcionado por la empresa LIGNOQUIM.

Aloe vera

Las hojas de *Aloe vera* de tres años fueron seleccionadas según su peso, forma, color y tamaño, asegurando que no presentaran daños. Tras ser lavadas con agua y etanol, se cortaron en la base cercana al suelo y se trasladaron al Laboratorio de Química de la Universidad Estatal de Milagro. Allí, las hojas se lavaron con agua corriente, se cortaron y sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio al 3%

por 15 minutos. Posteriormente, se lavaron con agua destilada, secaron y pesaron para calcular el rendimiento de la piel y pulpa.

La pulpa y la piel se separaron manualmente, y el gel fue extraído con una cuchara. Luego, la pulpa se homogeneizó en una licuadora con 50 ml de etanol al 95% y se dejó reposar en oscuridad por 64 horas. El macerado se filtró en varias etapas (cernidera, tela y filtrado al vacío) antes de ser concentrado en baño maría a $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 48 horas. Una vez evaporados el alcohol y agua, la muestra se deshidrató en un desecador artesanal por 48 horas y se pulverizó hasta obtener un polvo, el cual fue almacenado en un frasco ámbar a temperatura ambiente.

Condiciones de Estrés Abiótico en el Cultivo de Rábano

Las condiciones de estrés abiótico se aplicaron durante el desarrollo fenológico del rábano rojo (*Raphanus sativus*) variedad Crimson Giant, que comprende tres fases: germinación y emergencia en la primera semana; desarrollo vegetativo y radicular en la segunda y tercera semanas; y floración y fructificación en la cuarta y quinta semanas, etapa en la que se cosecha (Pérez y Sandoval, 2014).

- **Estrés hídrico:** Los tres tratamientos se sometieron a un estrés hídrico durante 7 días, con exposición solar de 9 horas diarias a una temperatura de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, comenzando en la tercera semana de la segunda fase fenológica
- **Estrés salino:** Durante 7 días, se aplicó estrés salino mediante la adición de cloruro de sodio (NaCl) al agua de riego, con 4 horas de exposición solar diarias a una temperatura de $29\text{ }^{\circ}\text{C}$, en la cuarta semana de la tercera fase fenológica
- **Estrés térmico:** Los tres tratamientos fueron sometidos a temperaturas extremas, con exposiciones solares variables de 4 a 10 horas diarias y temperaturas de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, a partir del primer día en las camas de cultivo.

Tabla 6. Descripción del estrés sometido durante la primera etapa fenológica.

Semana	Tratamiento	Etapas fenológica	Estrés hídrico	Estrés salino	Estrés térmico
1	T0	Germinación y emergencia	No	No	No
	T1		No	No	No
	T2		No	No	No
	T3		No	No	No

Elaborado por autores

Tabla 7. Descripción del tipo de estrés sometido durante la segunda etapa fenológica de acuerdo con las semanas.

Semana	Tratamiento	Etapas fenológica	Estrés hídrico	Estrés salino	Estrés térmico
2	T0	Desarrollo vegetativo y radicular	No	No	No
	T1		No	No	Si
	T2		No	No	Si
	T3		No	No	Si
3	T0		No	No	No
	T1		Si	No	Si
	T2		Si	No	Si
	T3		Si	No	Si

Elaborado por autores

Tabla 8. Descripción del tipo de estrés sometido durante la tercera etapa fenológica de acuerdo con las semanas.

Semana	Tratamiento	Etapas fenológica	Estrés hídrico	Estrés salino	Estrés térmico
4	T0	Floración y fructificación	No	No	No
	T1		No	Si	Si
	T2		No	Si	Si
	T3		No	Si	Si
5	T0		No	No	No
	T1		No	No	Si

T2	No	No	Si
T3	No	No	Si

Elaborado por autores

Registro del Desarrollo Foliar en Fases Pre-cosecha

La toma de valores del crecimiento del cultivo fue realizada cada 7 días en los cuatro tratamientos, las medidas se establecieron con un calibrador mecánico (STAINLESS STEEL 0-150 mm; ± 0.02 mm) y las variables seleccionadas fueron; la altura de la planta desde el tallo hasta la hoja, el diámetro del tallo, la presencia del bulbo y las hojas vivas y muertas.

Análisis de Variables Post-cosecha

En cada tratamiento se tomaron 15 plantas al azar, a continuación, se determinó las variables a describir en nuestra investigación:

Tabla 9. Descripción de las variables y unidades utilizadas para la investigación

Variables	Descripción	Unidades
Longitud de raíces	Se mide el tamaño de la raíz	cm
Longitud de la planta	Se mide el tamaño de la planta (Hojas + bulbo)	cm
Diámetro del tallo	Se midió el diámetro del tallo	cm
Diámetro del rábano	Se midió el diámetro del rábano	cm
Longitud del rábano	Se midió la longitud del rábano	cm
Peso de la planta	Se pesa la planta (Hojas + bulbo)	g
Peso del bulbo	Se pesa solo el bulbo	g
Peso seco de la planta	Deshidratación de la planta a 220 °C por 8 h. (hojas + bulbo)	g
Número de hojas	Se cuentan las hojas	U

Elaborado por autores

Análisis estadísticos

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza de un factor (ANOVA) utilizando un diseño de bloques completamente aleatorizados (DBCA). Se aplicó la prueba de Tukey para determinar diferencias significativas, considerando un nivel de error del 0.05%, y los datos fueron analizados mediante el software estadístico InfoStat versión 2020.

RESULTADOS

La cosecha se realizó a los 39 días post-germinación, revelando diferencias morfológicas y fisiológicas significativas entre los tratamientos aplicados (T1, T2 y T3) bajo estrés abiótico y el tratamiento de control (T0), que no mostró cambios.

Resultados por Tratamiento:

Los resultados obtenidos muestran que el tratamiento control (T0) presentó un desarrollo foliar normal, con hojas grandes y verdes, tallos rojizos y un diámetro adecuado; todas las unidades experimentales (UE) desarrollaron rábanos listos para la cosecha. En el tratamiento T1, sometido a estrés abiótico, se observó una notable reducción en el desarrollo foliar, con hojas deformadas y en menor cantidad, acompañadas de síntomas de clorosis y necrosis, y solo 24 UE emergieron, destacando la aparición de dos rábanos de color morado en lugar del rojo típico. El tratamiento T2, en el que se aplicó el bioestimulante a base de Aloe vera, mostró un crecimiento más uniforme, similar al T0, con un buen desarrollo foliar en todas las UE, aunque con leves afectaciones por clorosis; todas las UE estuvieron listas para la cosecha. Por último, en el tratamiento T3, que también incluyó la aplicación de un bioestimulante, se observó una gran variabilidad en el crecimiento, con 4 UE sin formación de bulbos y un desarrollo foliar deficiente, afectado por clorosis y necrosis, mientras que solo 21 UE presentaron rábanos emergidos.

Evaluación Post-Cosecha:

En la evaluación post-cosecha, el tratamiento T0, utilizado como control sin estrés, mostró el mayor desarrollo en todos los parámetros morfológicos analizados. En cuanto al desarrollo radicular, T3 (13,25 cm) superó ligeramente a T0 (12,65 cm), lo que sugiere un efecto positivo del bioestimulante en el crecimiento de las raíces. No se observaron diferencias significativas en la longitud de la planta, aunque T3 (18,73 cm) y T2 (17,88 cm) mostraron mejores resultados que T1 (14,42 cm), todos inferiores a T0 (27,09 cm). El diámetro del tallo tampoco mostró diferencias significativas,

con T2 (0,70 cm) y T3 (0,68 cm) por debajo de T0 (0,99 cm). En cuanto al diámetro del bulbo, T2 (2,48 cm) y T3 (2,23 cm) presentaron valores superiores a T1 (1,44 cm), aunque todos menores a los de T0 (3,48 cm). La longitud del bulbo no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, con valores de 3,58 cm (T3) y 3,48 cm (T2), ambos por debajo de T0 (6,17 cm). Respecto al peso de la planta, no hubo diferencias significativas entre T1 (14,93 g), T2 (20,93 g) y T3 (23,14 g), pero todos fueron inferiores a T0 (49,20 g). El peso del bulbo tampoco mostró diferencias significativas, con valores de T1 (7,13 g), T2 (11,33 g) y T3 (15,00 g), también inferiores a T0 (21,20 g). Finalmente, en la cantidad de hojas, T2 (6,60 U) presentó el mejor resultado, mientras que T3 (5,53 U) y T1 (5,27 U) no presentaron diferencias significativas, todos por debajo de T0 (8,07 U). En la variable de peso seco, se observaron diferencias significativas, con T2 (2.19 g) y T3 (2.25 g) presentando los mejores resultados, y T1 (0.94 g) los más bajos. En comparación con T0 (4.90 g), T2 y T3 demostraron mayor efectividad en el desarrollo.

Tabla 10. Efectos de los tratamientos

Genotipo	Variable	Tratamientos				E.E. (±)	Signif
		T0	T1	T2	T3		
Rábano rojo	Longitud de la raíz (cm)	12,65	9,49 ^a	10,53 ^a	13,25 ^b	0,51	0,0022
crimson giant	Longitud de la planta (cm)	27,09	13,38 ^a	17,88 ^{ab}	18,73 ^b	1,25	0,0341
(<i>Raphanus</i>	Diámetro del tallo (cm)	0,99	0,60 ^a	0,73 ^a	0,67 ^a	0,06	0,3711
<i>sativus</i>)	Diámetro del bulbo (cm)	3,84	1,44 ^a	2,48 ^b	2,23 ^{ab}	0,21	0,0191

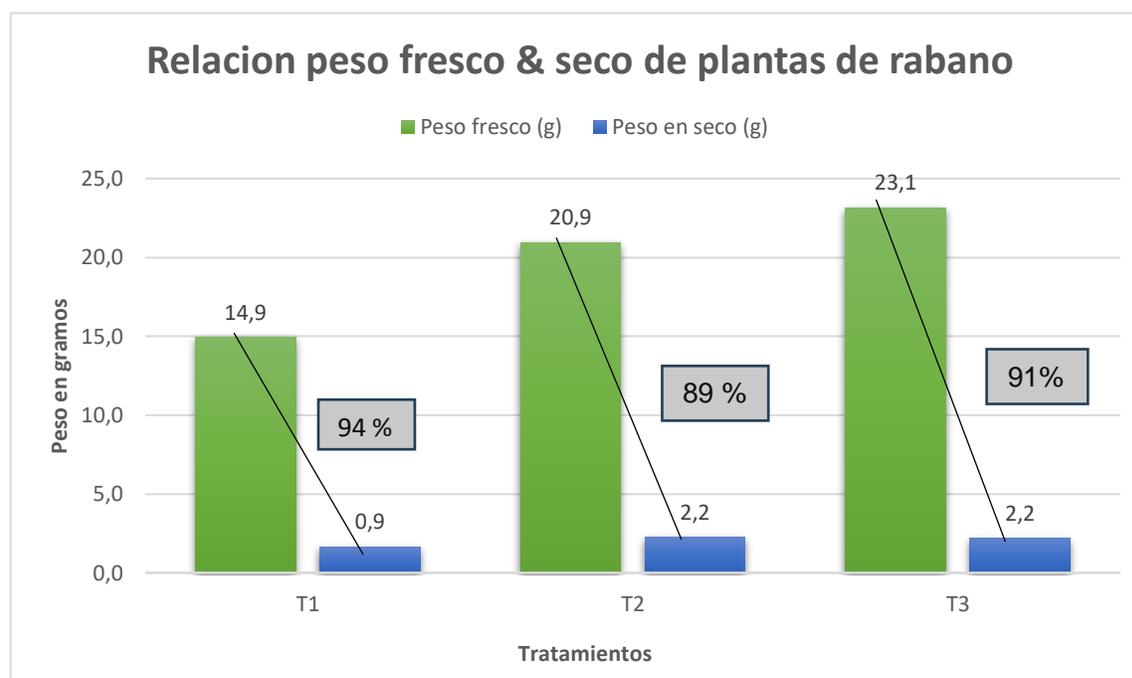
Longitud del bulbo (cm)	6,17	3,03 ^a	3,48 ^a	3,58 ^a	0,46	0,6751
Peso de la planta (g)	49,20	14,93 ^a	20,93 ^a	23,14 ^a	3,35	0,2602
Peso del bulbo (g)	21,20	7,13 ^a	11,33 ^a	15,00 ^a	2,42	0,1306
Peso en seco (g)	4,90	0,94 ^a	2,19 ^b	2,25 ^b	0,29	0,3130
Cantidad de hojas	8,07	5,27 ^a	6,60 ^b	5,53 ^a	0,13	0,0002

Nota: Las letras diferentes entre cada columna indican diferencias estadísticas para ($p < 0,05$) según Prueba de medias según Tukey. T0 (Tratamiento control sin estrés), T1 (Tratamiento bajo estrés), T2 (Tratamiento bajo estrés aplicando bioestimulante de *Aloe vera*) y T3 (Tratamiento bajo estrés aplicando bioestimulante a base de macro-algas).

Elaborado por autores.

En la Figura 1 se observa que, durante la deshidratación, T1 perdió el 94% de su peso, T2 el 89% y T3 el 91%, indicando que T2 retuvo más biomasa.

Figura 1. Relación del peso fresco y peso seco de las plantas después de la deshidratación.



Nota. Relación de la pérdida de agua después del proceso de la deshidratación. Tratamiento control con estrés (T1), tratamiento con bioestimulante a base de *Aloe vera* (T2), y tratamiento con bioestimulante a base de macro-algas (T3).

Elaborado por autores.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que el estrés abiótico, ya sea hídrico o salino, afecta de manera significativa el desarrollo morfológico y fisiológico del rábano rojo 'Crimson Giant' (*Raphanus sativus*). El tratamiento T0, que no experimentó estrés, mostró un desarrollo foliar normal, caracterizado por hojas grandes y saludables, en contraste con las alteraciones observadas en los tratamientos sometidos a estrés. Por otro lado, el tratamiento T2, que contenía bioestimulantes a base de *Aloe vera*, demostró un mejor desempeño en el desarrollo radicular y foliar, sugiriendo que estos bioestimulantes pueden ser efectivos para mitigar los efectos negativos del estrés salino, favoreciendo el crecimiento y la salud general de las plantas.

Estos hallazgos concuerdan con lo señalado por González (2017), quien destacó que las concentraciones del 10% y 12% de bioestimulantes a base de *Aloe vera* mejoran significativamente el enraizamiento y el desarrollo de la fitomasa fresca y seca en *Malpighia emarginata*. Sin embargo, estos resultados contrastan con las investigaciones de Jó García et al. (2020), que reportaron mejores resultados en concentraciones más bajas (4% y 6%) de *Aloe vera* aplicadas de forma foliar en *Musa spp.*, y con el estudio de Pérez et al. (2023), donde se observaron incrementos en altura y diámetro del tallo en *Lycopersicon esculentum* con un 5% de extracto de *Aloe vera*. Cabe destacar que estos estudios se llevaron a cabo en condiciones favorables, sin aplicación de estrés, lo que sugiere que, bajo condiciones de estrés abiótico, una concentración del 10% es más efectiva, como se demostró en este trabajo.

A pesar de las mejoras en algunas variables, el crecimiento general y la producción de biomasa, tanto en peso seco como en peso de bulbos, fueron inferiores en todos los tratamientos en comparación con el control. Esto concuerda con las observaciones de Rodríguez et al. (2019), quienes explican que la salinidad impacta

el crecimiento de las plantas debido a la toxicidad iónica y la deficiencia de nutrientes. Además, Dueñas et al. (2021) destacan que las hormonas presentes en el Aloe vera, como la giberelina y la auxina, pueden promover el crecimiento, lo que justifica la efectividad del tratamiento T2 en la mitigación de los efectos negativos del estrés salino. Esto sugiere que el uso de este bioestimulante podría mejorar la tolerancia a condiciones adversas en cultivos de rábano.

Asimismo, la variabilidad en la respuesta de los tratamientos ante diferentes tipos de estrés resalta la complejidad de la interacción entre los bioestimulantes y las condiciones ambientales. Esto sugiere que un enfoque más específico en la aplicación de estos productos podría mejorar aún más la tolerancia a condiciones adversas en cultivos de rábano.

CONCLUSIÓN

La aplicación foliar de Aloe vera al 10% como bioestimulante, realizada durante la segunda y tercera etapa fenológica en el tratamiento T2, promovió un crecimiento uniforme de las plantas, con mínima incidencia de alteraciones morfológicas y fitopatologías en las hojas. Se observó un comportamiento homogéneo en las variables de longitud de la planta, diámetro del bulbo y peso en seco, destacando el tratamiento T2 por presentar el mayor valor en la cantidad de hojas. Además, el Aloe vera mitigó las alteraciones morfológicas del bulbo inducidas por el estrés abiótico, evidenciando su capacidad para preservar la estructura de la planta. Tras el proceso de deshidratación, el T2 mostró el mayor contenido de biomasa total. Es importante resaltar que en todas las unidades experimentales (UE) del T2 se observó la emergencia del rábano, lo que refuerza la efectividad del Aloe vera en la tolerancia al estrés abiótico en el cultivo.

En cuanto al tratamiento T3, donde se aplicó el bioestimulante a base de macroalgas de manera foliar en la segunda y tercera etapa fenológica, se registró una notable variabilidad en la altura de las plantas, acompañada de un mayor grado de alteraciones morfológicas y presencia de enfermedades foliares. A pesar de que se observaron resultados similares en las variables de longitud de planta, diámetro de bulbo y peso en seco, el T3 destacó en el desarrollo radicular, superando los valores del tratamiento control (T0). No obstante, este tratamiento

no logró evitar las deformaciones morfológicas en el bulbo, afectando negativamente el peso y tamaño de los rábanos. Además, en solo 21 de las 25 UE se observó la emergencia del rábano, mientras que las restantes presentaron un desarrollo foliar limitado.

Al comparar los efectos de los dos bioestimulantes aplicados al 10% en condiciones de estrés hídrico, salino y térmico, se concluye que el Aloe vera es el tratamiento más eficaz para estimular el crecimiento bajo estas condiciones adversas. Este bioestimulante a base de aminoácidos no solo promueve un crecimiento constante en todas las UE, sino que también mejora el control de enfermedades, fomenta el desarrollo foliar y radicular, y aumenta la capacidad de absorción de nutrientes, optimizando el uso del agua. Por lo tanto, el Aloe vera se posiciona como una opción rentable y ecológica para estimular el crecimiento de cultivos bajo estrés, siendo amigable con el medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, Y. (2015). *Aloe vera*: Beneficios y aplicación en la agricultura. Cuba Tabaco, 16(2), 60-66. <http://www.iitabaco.co.cu/wp-content/uploads/2019/10/Vol-16-No-2-2015.pdf#page=61>
- Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., . . . Wallach, D.; Wolf, J.; Zhao, Z. y Zhu, Y. (2015). El aumento de las temperaturas reduce la producción mundial de trigo. *Nature Climate Change*, 5(2), 143–147. doi:<https://doi.org/10.1038/nclimate2470>
- Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P., y Prithviraj, B. (2015). Extractos de algas como bioestimulantes en horticultura. *Scientia Horticulturae*, 196, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012>
- Caballero Molada, M. (2016). *Estudio de efectos protectores y mecanismos de acción frente a estrés abiótico de bioestimulantes de fertilizantes en Saccharomyces cerevisiae* [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica de València <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/67390>
- Cardona-Ayala, C., Jarma-Orozco, A., y Araméndiz-Tatis, H. (2013). Mecanismos de adaptación a sequía en caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Una revisión.

- Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2), 277-288.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v7n2/v7n2a12.pdf>
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., González González, M., Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., y González González, M. (2021). Potencial de las macro-algas marinas como bioestimulantes en la producción agrícola de Cuba. *Centro Agrícola*, 48(3), 81-92.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0253-57852021000300081&lng=es&nrm=iso&tlng=pt
- Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., González-González, M., Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., y González-González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Bioteología Vegetal*, 20(4), 257-282. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2074-86472020000400257&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- FAO. (2020). Alimentación y agricultura sostenibles. <https://www.fao.org/sustainability/background/es/>
- García, S. (2017). Función de los aminoácidos como bioestimulantes. INTAGRI(93), 3. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/funcion-de-los-aminoacidos-como-bioestimulantes>
- Hamman, J. H. (2018). Composición y aplicaciones del gel de hoja de *Aloe vera*. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 13(8), 1599-1616.
<https://doi.org/10.3390/molecules13081599>
- Hawrylak, B., Hasanuzzaman, M., y Wójcik, M. (2021). Bioestimulación y biofortificación de plantas de cultivo:nuevos retos para la agricultura. *TecnoAgro*, 15, 20-950. <https://tecnoagro.com.mx/no-151/bioestimulacion-y-biofortificacion-de-plantas-de-cultivo-nuevos-retos-para-la-agricultura>
- Héctor-Ardisana, E., Torres-García, A., Fosado-Téllez, O., Peñarrieta-Bravo, S., Solórzano-Bravo, J., Jarre-Mendoza, V., Medranda-Vera, F., Montoya-Bazán, J., Héctor-Ardisana, E., Torres-García, A., Fosado-Téllez, O.,

- Peñarrieta-Bravo, S., Solórzano-Bravo, J., Jarre-Mendoza, V., Medranda-Vera, F., y Montoya-Bazán, J. (2020). Influencia de bioestimulantes sobre el crecimiento y el rendimiento de cultivos de ciclo corto en Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 41(4).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362020000400002&lng=es&nrm=iso&tlng=pt
- InfoAgro. (2019). El cultivo del rábano.
<https://www.infoagro.com/hortalizas/rabano.htm>
- INTAGRI. (2022). Aminoácidos para la bioestimulación de cultivos.
<https://www.intagri.com/articulos/nutricionvegetal/aminoacidos-para-la-bioestimulacion-de-cultivos-hortofruticolas>
- Khatun, S., Ahmed, J. U., y Mohi-Ud-Din, M. (2015). Variación de cultivares de trigo en su relación entre la utilización de la reserva de semillas y la Temperatura de la Hoja bajo Temperatura Elevada. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 18(2), 97-101. <https://doi.org/10.1007/s12892-014-0117-y>
- Manvitha, K., y Bidya, B. (2014). *Aloe vera*: una planta maravillosa, su historia, cultivo y usos medicinales. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2(5), 85-88.
<https://www.phytojournal.com/archives/2014/vol2issue5/PartB/19.1.pdf>
- Méndez-Espinoza, C., y Vallejo Reyna, M. Á. (2019). Mecanismos de respuesta al estrés abiótico: Hacia una perspectiva de las especies forestales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(56), 33-64.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.567>
- Miranda Pérez, D., Maqueira Reyes, D., Díaz López, M. S., Ravelo Arteaga, Y., y Ravelo Pimentel, K. (2023). Efecto de un hidrogel natural a base de *Aloe vera* en diferentes dosis sobre parámetros de crecimiento del *Lycopersicon esculentum* L. *Ecovida: Revista científica sobre diversidad biológica y su gestión integrada*, 13(1), 1-8.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8992126>
- Monge, J., & Loria, M. (2022). Aplicación foliar de caolinita y *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis en chile dulce (*Capsicum annuum* L.). *Avances En Investigación*

- Agropecuaria*, 26(1), 121-133.
doi:<https://doi.org/10.53897/RevAIA.22.26.09>
- Nabti, E., Jha, B., y Hartmann, A. (2017). Impacto de las algas marinas en la producción de cultivos agrícolas como biofertilizante. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(5), 1119-1134.
<https://doi.org/10.1007/s13762-016-1202-1>
- Peña, K., Donoso, S., Gangas, R., Durán, S., y Ilaba, D. (2018). Efectos de la sequía en las relaciones hídricas, crecimiento y distribución de biomasa en plantas de *Peumus boldus* Molina (Monimiaceae) cultivadas en vivero. *Interciencia*, 43(1), 36-43.
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/150443/Efectos-de-la-sequia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peñaranda, I. (2017). Función de los aminoácidos en plantas. *Metroflor-agro*(79).
<https://www.metroflorcolombia.com/funcion-de-los-aminoacidos-en-plantas/>
- Peñaranda, I. (2017). Función de los aminoácidos en plantas. *Metroflor-agro*(79).
<https://www.metroflorcolombia.com/funcion-de-los-aminoacidos-en-plantas/>
- Pulido, S., y Becerra, A. (2016). *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) en la regeneración de explantes de Agra (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Cultura científica*, 14, 58-68.
https://revista.jdc.edu.co/index.php/Cult_cient/article/view/39/152
https://revista.jdc.edu.co/index.php/Cult_cient/article/view/39
- Rodríguez Ledesma, N. D., Torres Sevillano, C. N., Chaman Medina, M. E., y Hidalgo Rodríguez, J. E. M. (2019). Efecto del estrés salino en el crecimiento y contenido relativo del agua en las variedades IR-43 y amazonas de *Oryza sativa* «arroz» (Poaceae). *Arnaldoa*, 26(3), 931-942.
<https://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26305>
- Salazar, Y., Martínez, J., & Gallardo, A. (2021). Los bioestimulantes. Una alternativa para el desarrollo agroecológico cubano. *ECOVIDA*, 11(3), 225-249.
<https://revistaecovida.upr.edu.cu/index.php/ecovida/article/view/239>

- Sánchez-Machado, D. I., López-Cervantes, J., Sendón, R., y Sanches-Silva, A. (2017). *Aloe vera*: Conocimiento antiguo con nuevas fronteras. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.12.005>
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I., & Murphy, A. (2021). *Fundamentos de Fisiología Vegetal-6.ed.* (6 ed.). Artmed Editora.
- Terry Alfonso, E., Ruiz Padrón, J., Tejeda Peraza, T., y Reynaldo Escobar, I. (2014). Efectividad agrobiológica del producto bioactivo Pectimorf® en el cultivo del Rábano (*Raphanus sativus* L.). *Cultivos Tropicales*, 35(2), 105-111. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362014000200014&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Veobides-Amador, H., Guridi-Izquierdo, F., y Vázquez-Padrón, V. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos Tropicales*, 39(4), 102-109. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362018000400015&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Conflicto de intereses

Los autores indican que esta investigación no tiene conflicto de intereses y, por tanto, acepta las normativas de la publicación en esta revista.

Con certificación de:

