

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Efecto de extractos de algas marinas en la germinación y el crecimiento de plántulas de tomate

Effect of seaweed extracts on the germination and growth of tomato seedling

Authors/Autores: Espinosa-Antón, A.A., Acosta-Calderón, J.A., Hernández-Herrera, R.M.

ID: e1797

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1797>

Received/Fecha de recepción: October 21th 2024

Accepted /Fecha de aceptación: May 21th 2025

Available online/Fecha de publicación: June 06th 2025

Please cite this article as/Como citar este artículo: Espinosa-Antón, A.A., Acosta-Calderón, J.A., Hernández-Herrera, R.M. (2025). Effect of seaweed extracts on the germination and growth of tomato seedling. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1797. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1797>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Artículo original

Efecto de extractos de algas marinas en la germinación y el crecimiento de plántulas de tomate

Effect of seaweed extracts on the germination and growth of tomato seedling

Bioestimulación de la germinación y el crecimiento temprano del tomate/
Biostimulation of tomato germination and early growth

Espinosa-Antón, A.A.¹  (<https://orcid.org/0000-0001-6207-445X>), Acosta-Calderón, J.A.²  (<https://orcid.org/0000-0002-4409-6214>), Hernández-Herrera, R.M.^{1*}  (<https://orcid.org/0000-0002-8753-3138>)

¹Departamento de Botánica y Zoología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Camino Ramón Padilla Sánchez, No. 2100, C.P.45200, Zapopan, Jalisco, México.

²Instituto de Ecología, Universidad del Mar. Ciudad Universitaria s/n, Col. El Faro. C.P. 70902, Puerto Ángel, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México.

*Corresponding Author:

Rosalba Mireya Hernández-Herrera. ¹Departamento de Botánica y Zoología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Camino Ramón Padilla Sánchez, No. 2100, C.P.45200, Zapopan, Jalisco, México. Teléfono: (55) 3318448804. E-mail: rosalba.hernandez@academicos.udg.mx

RESUMEN

En la búsqueda de soluciones innovadoras y sostenibles para afrontar los retos de la agricultura actual, las algas marinas emergen como una fuente prometedora de productos alternativos a los insumos químicos tradicionales. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de los extractos acuosos de las algas marinas *Gracilaria huavensis* y *Chaetomorpha antennina* sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*) en condiciones de laboratorio. Se evaluaron los efectos de diferentes concentraciones de extractos de algas marinas (0.25, 0.5 y 1.0 %) en comparación con un grupo de control (agua destilada). La aplicación de todos los extractos de algas marinas mejoró la germinación de las semillas de tomate y el crecimiento temprano de las plántulas. Específicamente, los tratamientos de semillas con 0.25 % de extracto de *G. huavensis* y 0.5 % de extracto de *C. antennina* aumentaron el porcentaje de germinación, la tasa de germinación, la energía de germinación y el índice de vigor de las plántulas en comparación con el control. Además, la longitud de las plántulas y la acumulación de biomasa mejoraron

con ambos tratamientos de algas marinas. Los resultados de este estudio indican el potencial de los extractos acuosos de *G. huavensis* y *C. antennina* como bioestimulantes efectivos en las primeras etapas del desarrollo de las plantas de tomate.

PALABRAS CLAVE:

Chlorophyta, Rhodophyta, porcentaje de germinación, índice de vigor, extractos

ABSTRACT

In the quest for innovative and sustainable solutions to tackle the challenges of modern agriculture, seaweed emerges as a promising alternative to traditional chemical inputs. This study aimed to evaluate the effects of aqueous extracts from the seaweeds *Gracilaria huavensis* and *Chaetomorpha antennina* on tomato germination and seedling growth (*Solanum lycopersicum*) under laboratory conditions. The effects of different concentrations of seaweed extracts (0.25 %, 0.5 %, and 1.0 %) were assessed in comparison to a control group (distilled water). The application of all seaweed extracts enhanced tomato seed germination and early seedling growth. Specifically, seed treatments with 0.25 % *G. huavensis* extract and 0.5 % *C. antennina* extract increased the germination percentage, germination rate, germination energy, and seedling vigor index compared to the control. Additionally, seedling length and biomass accumulation improved with both seaweed treatments. Obtained data highlight the potential of aqueous extracts from *G. huavensis* and *C. antennina* as effective biostimulants in the early stages of tomato plant development.

KEYWORDS

Chlorophyta, Rhodophyta, germination percentage, vigor index, bioactive extracts.

Introducción

La agricultura moderna enfrenta el desafío constante de incrementar la productividad y sostenibilidad de los cultivos en un contexto global caracterizado por la creciente demanda de alimentos y los efectos del cambio climático (Hernández-Herrera *et al.*, 2018; Chanthini *et al.*, 2022). En este escenario, la búsqueda de productos biológicamente activos obtenidos de materias primas locales, se ha

convertido en una prioridad para minimizar el empleo de agroquímicos sintéticos (Espinosa-Antón *et al.*, 2020). Entre las diversas estrategias emergentes, la aplicación de extractos de algas marinas ha adquirido reconocimiento como bioestimulantes de plantas debido a sus principales efectos sobre las plantas como una mayor asimilación de nutrientes, la germinación acelerada de semillas, el vigor de las plántulas y el desarrollo de la raíces y un mayor rendimiento, mejor resistencia a las condiciones de estrés y un incremento en la vida media de las frutas y hortalizas recolectadas (Khan *et al.*, 2009; Hernández-Herrera *et al.*, 2014; Di Filippo-Herrera *et al.*, 2019; Chanthini *et al.*, 2019; 2022).

Estos efectos positivos se atribuyen a su riqueza en compuestos bioactivos, tales como minerales, varios tipos de carbohidratos, aminoácidos, fitohormonas y metabolitos secundarios (Hernández-Herrera *et al.*, 2023). En los últimos años se ha observado en la agricultura y horticultura de México, un incremento del interés por el uso de bioestimulantes basados en extractos de algas marinas como estrategia sostenible para el manejo de los cultivos (Hernández-Herrera *et al.*, 2023; Sariñana-Aldaco *et al.*, 2022). Aunque las algas marinas representan un recurso local diverso y abundante a lo largo de sus costas, la mayoría de los extractos elaborados con fines agrícolas provienen de especies de algas pardas (*Phaeophyceae*) (Hernández-Herrera *et al.*, 2018) y aun cuando nuestro país no tiene una legislación sobre bioestimulantes, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana para el etiquetado de Nutrientes Vegetales (NOM-182-SSA1-2010) los extractos de algas se comercializan como reguladores de crecimiento de tipo 1.

Por otra parte, la información disponible sobre el potencial bioestimulante de los extractos derivados de algas rojas (Rhodophyta) y algas verdes (Chlorophyta) en nuestro país es limitada, solo se tiene información de dos estudios con las algas rojas *Acanthophora spicifera*, *Gelidium robustum* *Gracilaria parvispora* los cuales reportan que los extractos alcalinos promueven la germinación y el vigor de las plántulas de frijol mungo (*Vigna radiata*) (Di Filippo-Herrera *et al.*, 2019; Hernández-Herrera *et al.*, 2022). De igual manera la aplicación de extractos de *Ulva lactuca* y *Caulerpa sertularioides* promueven la germinación y el crecimiento temprano de las plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*) (Hernández-Herrera *et al.*, 2014; 2016); y de frijol mungo (*V. radiata*) (Castellanos-Barriga *et al.*, 2017).

A partir de este conocimiento generado sobre la bioactividad de los extractos obtenidos de estas algas marinas, resulta interesante evaluar otras especies de algas rojas (Rhodophyta) y algas verdes (Chlorophyta) de México para determinar el potencial de las macroalgas en la agricultura. En este sentido, la macroalga roja *Gracilaria huavensis* Abbott y la macroalga verde *Chaetomorpha antennina* (Bory) Kützting son especies perennes distribuidas en el litoral de Pacífico mexicano, específicamente, en los ambientes costeros de Oaxaca son componentes importantes de la riqueza ficológica (Rosas-Alquicira *et al.*, 2019). Por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar la aplicación de los extractos acuosos de las algas marinas *G. huavensis* y *C. antennina* en la germinación y como promotores del crecimiento en plántulas de tomate.

Material y Métodos

Para la preparación de los extractos, la biomasa seca de las algas fue proporcionada por el Laboratorio de Oceanografía Biológica de la Universidad del Mar, las cuales provienen de la costa de Oaxaca, en el Pacífico tropical mexicano. Las muestras se secaron en horno de convección a 60 °C por 25 h y se pulverizó en un molino eléctrico hasta obtener un polvo de 0.50 mm. Con este polvo se elaboraron extractos acuosos siguiendo la metodología descrita por Hernández-Herrera *et al.* (2014). Brevemente, 10 g de polvo de cada alga se añadieron de manera individual a 1 L de agua destilada con agitación constante durante 15 minutos, seguido de autoclave a 121 °C durante 1 h a 1.5 kg cm⁻². Los extractos calientes se filtraron a través de un papel de filtro Whatman No. 40 y se almacenaron a 4 °C hasta su empleo.

Para el bioensayo de germinación, los experimentos se realizaron con semillas de tomate certificadas (*Solanum lycopersicum* cv. Rio Fuego; Kristen seed®, San Diego, CA, EE. UU.). Los bioensayos de germinación se desarrollaron de acuerdo a las indicaciones de la Asociación de Analistas Oficiales de Semillas (AOSA, 1996). Las semillas se desinfectaron superficialmente por inmersión en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 4 % durante 10 minutos y se enjuagaron tres veces en agua destilado estéril durante 1 minuto. A continuación, las semillas de tomate se colocaron sobre papel de filtro Whatman No. 5 contenido en placas Petri de 90 mm de diámetro y posteriormente se aplicó 5 mL de los extractos de algas a concentración de 0.25, 0.5 y 1.0 % y como control (agua destilada). Las cajas Petri se incubaron en

una cámara de crecimiento a 25 ± 2 °C, humedad relativa del 85 % y con un fotoperiodo 16:8 h (luz: oscuridad).

La germinación se observó diariamente durante ocho días según los métodos de la Asociación de Analistas Oficiales de Semillas (AOSA, 1996). Se consideró que las semillas habían germinado cuando la radícula emergida tenía más de 2 mm. Posteriormente, se calcularon los parámetros de germinación (el porcentaje de germinación, tiempo medio de germinación, tasa de germinación, energía de germinación e índice de vigor de la plántula) de acuerdo a Castellanos-Barriga *et al.* (2017). Después de 12 días de crecimiento, se midió la longitud de la radícula, el hipocótilo y la longitud total de plántula con un calibrador digital Vernier (Electrónica Steren S.A. de C.V., Ciudad de México, México). El peso fresco y seco se obtuvo con una balanza analítica (HR-200, A & D Company, Ltd., Michigan, EE. UU.).

Los experimentos se realizaron independientemente por extracto de alga con un diseño factorial completamente aleatorizado. Para la germinación se evaluó un total de 10 réplicas (cajas Petri) con 10 semillas cada una, en total 100 semillas por tratamiento y concentración. Para el crecimiento se seleccionaron al azar 50 plántulas por tratamiento y concentración. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA, $p < 0.05$) y la prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey ($p < 0.05$) en el software Statgraphics® Centurion XVI.

Resultados y Discusión

Los ensayos de germinación son una herramienta rápida y sencilla para evaluar los extractos de algas como bioestimulantes del crecimiento vegetal y predecir los posibles efectos que ejercen sobre las plantas (Di Filippo-Herrera *et al.*, 2019). En el presente trabajo se observó una respuesta diferente a los dos tipos de extractos en la germinación y el crecimiento de las plantas. Las semillas de tomate tratadas con bajas concentraciones de *Chaetomorpha antennina* al 0.25 % respondieron mejor en términos de porcentaje y tasa de germinación (16 % y 19 %) asociada con menor tiempo medio de germinación (4.73), alta energía de germinación (24 %) y, en consecuencia, mayor vigor de las plántulas (37 %) en comparación con el grupo control. En cambio, la aplicación del extracto acuoso de *G. huavensis* a la dosis de 0.50 % también incrementó significativamente el porcentaje de germinación (GP) (17

%), GR (19 %), GE (23 %) y SVI (52 %). en comparación con el grupo control (Tabla 1). Por el contrario, las concentraciones 1.0 % de ambos extractos no mostró diferencias significativas en la germinación con respecto al control.

Tabla 1. Efecto de los extractos acuosos en la germinación de semillas de tomate

Variables	Porcentaje de germinación (%)	Tiempo medio de germinación (días)	Tasa de germinación	Energía de germinación (%)	Índice de vigor de la plántula
Control	81±1.87 ^b	4.78±0.10 ^a	14.38±0.46 ^b	71±3.67 ^b	587.72±39.92 ^b
GH 0.25 %	88±3.39 ^{ab}	4.78±0.05 ^a	15.72±0.40 ^{ab}	75±3.16 ^{ab}	735.66±52.41 ^{ab}
GH 0.50 %	95±1.58^a	4.71±0.02 ^a	17.14±0.61^a	87±2.55^a	895.25±56.69^a
GH 1.00 %	89±3.67 ^{ab}	4.70±0.03 ^a	16.75±0.76 ^{ab}	86±3.67 ^{ab}	794.84±54.37 ^{ab}
CA 0.25 %	94±1.87^a	4.73±0.06 ^a	17.05±0.80^a	88±3.74^a	802.92±32.59^a
CA 0.50 %	86±3.31 ^{ab}	4.73±0.01 ^a	16.10±0.62 ^{ab}	84±4.30 ^{ab}	651.52±51.21 ^{ab}
CA 1.00 %	86±3.31 ^{ab}	4.76±0.05 ^a	15.83±0.34 ^{ab}	83±2.00 ^{ab}	610.30±43.42 ^b

Gracilaria huavensis (GH) and *Chaetomorpha antennina* (CA). Valores promedio ± error estándar (n = 10).

Letras diferentes indican diferencias significativas entre los promedios de la misma columna, según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Este comportamiento en la germinación de las semillas es consistente con otros trabajos realizados con extractos de algas verdes *Caulerpa sertularioides* y *Ulva lactuca* al 0.20 % (Hernández-Herrera *et al.*, 2014), y con los trabajos realizados con por Di Filippo-Herrera *et al.* (2019) quienes informaron que el tratamiento del alga roja *G. parvispora* incrementó la germinación de semillas de frijol mungo (3 %). Contrario a lo anterior, en otro trabajo realizado por Chanthini *et al.* (2019) la aplicación de extractos de *C. antennina* a concentración de 10 % aceleró la germinación de las semillas al reducir el tiempo medio de germinación y aumentar los valores de la energía, la tasa de germinación y el índice de vigor de las plántulas de tomate. Del mismo modo, los extractos líquidos de *Gracilaria edulis* al 20 % de concentración mostraron un efecto en la germinación de jitomate del 100 % (Vinoth *et al.*, 2012). Estas diferencias en las concentraciones utilizadas, posiblemente se debe a los rangos cuantitativos de los diversos componentes presentes en los extractos de algas ya pueden variar según la temporada de cosecha de la biomasa, la ubicación y los métodos y condiciones de extracción durante la elaboración del producto (Castro-González *et al.*, 1996; Khan *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2023). De igual forma su efecto puede variar sobre un mismo cultivo dependiendo de la variedad evaluada (Espinosa-Antón *et al.*, 2020).

Además, se ha demostrado que los extractos de algas marinas mejoran tanto la relación raíz-brote como la acumulación de biomasa en plántulas de tomate al estimular el crecimiento (Crouch & Van Staden 1992). En cuanto al crecimiento de las plántulas de tomate, el extracto de *G. huavensis* no tuvo efecto significativo en la longitud del hipocótilo y radícula (Figura 1a, b). El crecimiento de las plántulas de tomate si fue afectado favorablemente con el extracto de *C. antennina* a concentración del 0.50 %, donde se incrementó la longitud de la radícula (3.55 cm), el hipocótilo (6.63 cm) y la longitud total de las plántulas hasta (10.9 cm) en comparación con las plántulas control, las cuales registraron valores de (2.34, 4.89 y 7.24 cm), respectivamente. Del mismo modo, las plántulas tratadas con el extracto al 1.0 % mostraron un aumento en la longitud del hipocótilo (Figura 1c, d).

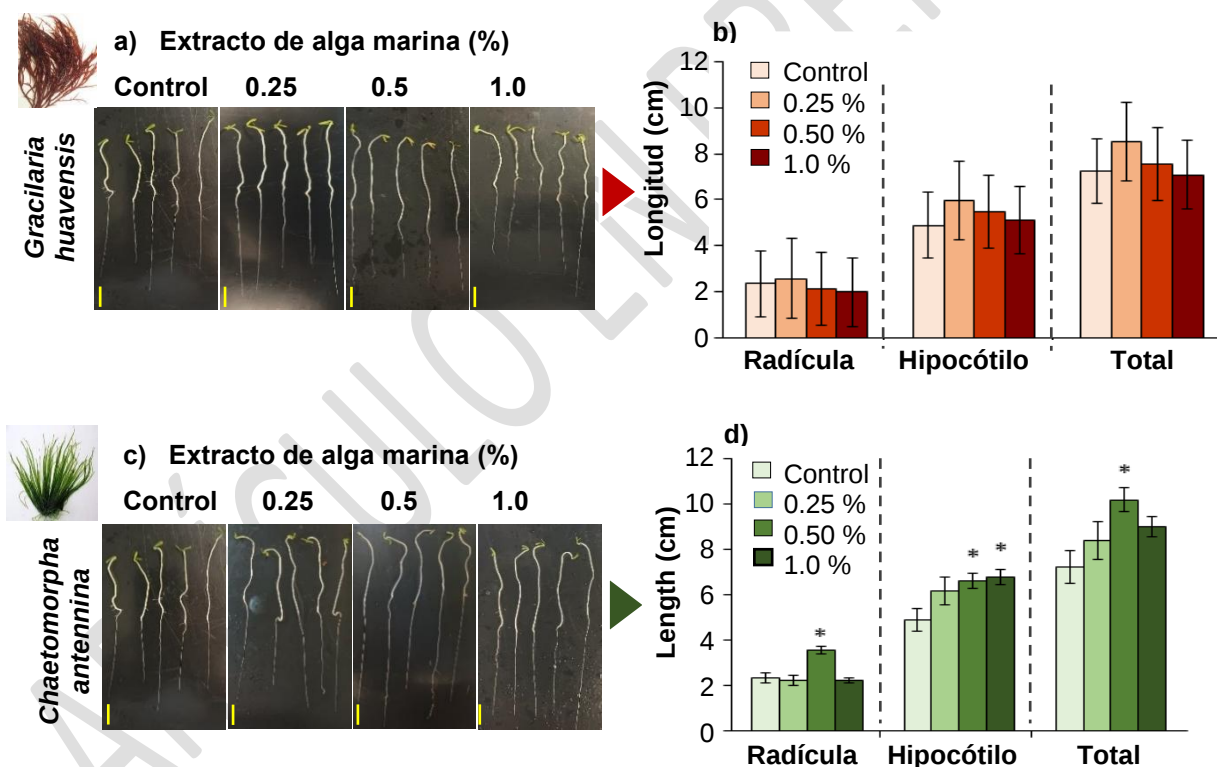


Figura 1. Efecto de los extractos de (a,b) *Gracilaria huavensis* y (c,d) *Chaetomorpha antennina* a concentraciones de 0.25, 0.5 y 1.0 % en la longitud de la radícula, hipocótilo y total. (Barra = 1 cm)

No obstante, aun cuando las distintas concentraciones del extracto acuoso de *G. huavensis* no mostro un efecto en el crecimiento del jitomate, si se observó un efecto

significativo en el peso de las plántulas, donde las concentraciones al 0.25 % y 0.50 % mostraron un incremento significativo del peso fresco (0.77 g) y el peso seco (0.03 g) en comparación con las plántulas control (0.23 y 0.01 g, respectivamente) (Figura 2a). En cambio, extractos alcalinos de *C. antennina* al 0.50 % incrementaron el peso fresco y seco de las plántulas de tomate (Figura 2b).

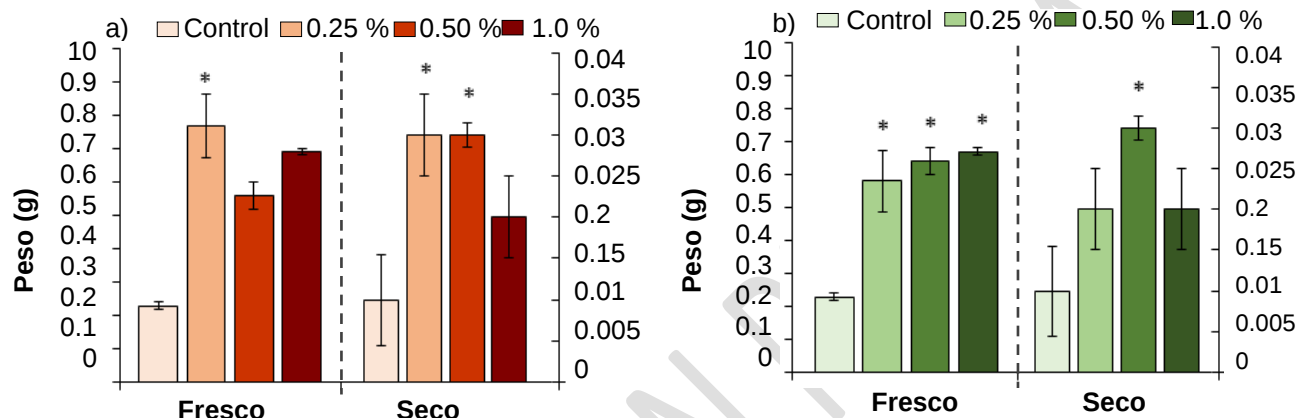


Figura 2. Efecto de los extractos acuosos de (a) *Gracilaria huavensis* y (b) *Chaetomorpha antennina* a concentraciones de 0.25, 0.5 y 1.0 % en el peso fresco y seco de las plántulas de jitomate

Los efectos positivos de los extractos de *G. huavensis* y *C. antennina* en los parámetros de la germinación y del crecimiento de las plántulas de tomate, observados en este estudio, pueden estar relacionados con su composición química de pequeñas cantidades de fitohormonas (giberelinas, auxinas, citoquininas, carbohidratos y proteínas) que regulan procesos como la movilización de las sustancias de reserva, la elongación y diferenciación del eje embrionario y el desarrollo de las estructuras esenciales de las plántulas (Chanthini *et al.*, 2019; Di Filippo-Herrera *et al.*, 2019; Espinosa-Antón *et al.*, 2020; Hernández-Herrera *et al.*, 2014; 2023), así como solutos osmóticamente activos como sales minerales (NO_3^- , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+}), los cuales a bajas concentraciones promueven la imbibición de agua en las semillas y, consecuentemente, activan el proceso germinativo (Bewley & Black, 1994). Por el contrario, los extractos de algas en concentraciones más altas (>1 %) muestran un efecto negativo significativo en la

germinación de las semillas de tomate, al inhibir la capacidad de las semillas para absorber agua (Castellanos-Barriga *et al.*, 2017).

De forma similar, los tratamientos algales evaluados al 1.0 % en este trabajo pueden haber afectado el potencial osmótico, impidiendo así el desarrollo de la presión de turgencia en la semilla, que se considera uno de los factores clave para el inicio del crecimiento radicular durante la germinación de la semilla (Maia & Rainer 2001). Con base en los resultados del presente estudio, se pudo determinar que ambos extractos acuosos presentan actividad bioestimulante del crecimiento en las fases iniciales del desarrollo de este cultivo de jitomate. Sin embargo, es necesario continuar estudiando a las algas verdes y rojas para aprovechar un recurso que generalmente es de bajo interés por la falta de información y que permita conocer las características y propiedades con beneficios para la agricultura mexicana.

Conclusiones

Los extractos acuosos de *G. huavensis* al 0.25 % y *C. antennina* a 0.5 % mostraron efectos positivos en las etapas iniciales del desarrollo del cultivo de tomate. Lo anterior nos puede dar una idea del interés de algas debido a su potencial biotecnológico y como fuente de energías renovables, de bioestimulantes o de productos de alto valor añadido. Donde los extractos acuosos de *G. huavensis* y *C. antennina* pueden ser aplicados como productos bioestimulantes alternativos para la producción más sostenible de cultivos agrícolas en las comunidades costeras con acceso a este recurso. Sin embargo, es necesario caracterizar la composición bioquímica de los extractos evaluados para comprender mejor los mecanismos de acción que explican las propiedades bioestimulantes observadas. Además, investigaciones futuras deberán evaluar los posibles efectos de estos extractos de algas en el crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate en entornos agrícolas, considerando otras dosis y modos de aplicación.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, Espinosa-Antón, A.A., Hernández-Herrera, R.M.; desarrollo de la metodología, Espinosa-Antón, A.A., Acosta-Calderón, J.A.; manejo de software, Espinosa-Antón, A.A., Hernández-Herrera, R.M.; validación experimental, Hernández-Herrera, R.M., Acosta-Calderón, J.A.; análisis de

resultados, Espinosa-Antón, A.A, Hernández-Herrera, R.M.; Manejo de datos, Espinosa-Antón, A.A.; escritura y preparación del manuscrito, Espinosa-Antón, A.A., Hernández-Herrera, R.M.; redacción, revisión y edición, Acosta-Calderón, J.A., Hernández-Herrera, R.M.; administrador de proyectos, Hernández-Herrera, R.M.; adquisición de fondos, Acosta-Calderón, J.A., Hernández-Herrera, R.M.

Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- AOSA. (1996). Rules for testing seeds. *Journal of Seed Technology*, 16, 1–113. <https://analyzeseeds.com/wp-content/uploads/2023/11/1995-1996-Passed-rules.pdf>
- Bewley, J.D., & Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination*. Ed. Springer. https://books.google.com.mx/books?id=W6EbrewcpDwC&printsec=frontcover&hl=es&source=qbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- Castellanos-Barriga, L.G., Santacruz-Ruvalcaba, F., Hernández-Carmona, G., Ramírez-Briones, E., & Hernández-Herrera, R.M. (2017). Effect of seaweed liquid extracts from *Ulva lactuca* on seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*). *Journal of Applied Phycology*, 29, 2479–2488. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1082-x>
- Chanthini, K.M.P., Senthil-Nathan, S., Pavithra, G.S., Malarvizhi, P., Murugan, P., Deva-Andrews, A., Janaki, M., Sivanesh, H., Ramasubramanian, R., & Krutmuang, P. (2022). Aqueous seaweed extract alleviates salinity-induced toxicities in rice plants (*Oryza sativa* L.) by modulating their physiology and biochemistry. *Agriculture*, 12(12), 2049. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122049>
- Chanthini, K.M.P., Senthil-Nathan, S., Stanley-Raja, V., Thanigaivel, A., Karthi, S., Sivanesh, H., Sundar, N.S., Palanikani, R., & Soranam, R. (2019). *Chaetomorpha antennina* (Bory) Kützinger derived seaweed liquid fertilizers as prospective bio-stimulant for *Lycopersicon esculentum* (Mill). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 20, 101190. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101190>
- Castro-González, M.I., Pérez-Gil, R., Pérez-Estrella, S., & Carrillo-Domínguez, S. (1996). Chemical composition of the green alga *Ulva lactuca*. *Ciencias Marinas*, 22(2), 205–213. <https://doi.org/10.7773/cm.v22i2.853>
- Crouch, I.J., & van Staden, J. (1992). Effect of seaweed concentrate on the establishment and yield of greenhouse tomato plants. *Journal of Applied Phycology*, 4, 291–296. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02185785>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). NORMA Oficial Mexicana NOM-182-SSA1-2010, Etiquetado de Nutrientes Vegetales. Disponible en línea: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4371/salud1a1.htm#:~:text=1.1%20Esta%20norma%20establece%20las,regladores%20de%20crecimiento%20tipo%203> (consultado el 5 de junio de 2024).

- Di Filippo-Herrera, D.A., Muñoz-Ochoa, M., Hernández-Herrera, R.M., & Hernández-Carmona, G. (2019). Biostimulant activity of individual and blended seaweed extracts on the germination and growth of the mung bean. *Journal of Applied Phycology*, 31, 2025–2037. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1680-2>
- Espinosa-Antón, A.A., Hernández-Herrera, R.M., & González-González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Biotechnología Vegetal*, 20(4), 257–28. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/677>
- Hernández-Herrera, R.M., González-González, M.F., Velasco-Ramírez, A.P., Velasco-Ramírez, S.F., Santacruz-Ruvalcaba, F., & Zamora-Natera, J.F. (2023). Seaweed Extract Components Are Correlated with the Seeds Germination and Growth of Tomato Seedlings. *Seeds*, 2(4), 436–448. <https://doi.org/10.3390/seeds2040033>
- Hernández-Herrera, R.M., Hernández-Carmona, G. & Muñoz-Ochoa, M. (2022). Hormesis and other non-monotonic growth responses in mung bean (*Vigna radiata*) seedlings treated with seaweed liquid extracts. *Journal of Applied Phycology*, 34, 2187–2199. <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02780-5>
- Hernández-Herrera, R.M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Briceño-Domínguez, D.R., Filippo-Herrera, D., Andrea, D., & Hernández-Carmona, G. (2018). Seaweed as potential plant growth stimulants for agriculture in Mexico. *Hidrobiológica*, 28(1), 129–140. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2018v28n1/HernandezC>
- Hernández-Herrera, R.M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Ruiz-López, M.A., Norrie, J., & Hernández-Carmona, G. (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Applied Phycology*, 26, 619–628. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0078-4>
- Hernández-Herrera, R.M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Zañudo-Hernández, J., & Hernández-Carmona, G. (2016). Activity of seaweed extracts and polysaccharide-enriched extracts from *Ulva lactuca* and *Padina gymnospora* as growth promoters of tomato and mung bean plants. *Journal of Applied Phycology*, 28, 2549–2560. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0781-4>
- Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Craigie, J.S., Norrie, J., & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Plant Growth Regulation*, 28, 386–399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>
- Maia, A., & Rainer, L. (2001). Changes in water relations, solute leakage and growth characters during seed germination and seedling development in *Trigonella coerulea* (Fabaceae). *Journal of Applied Botany*, 75, 144–151. <http://pub.jki.bund.de/index.php/JABFO/index>
- Rosas-Alquicira, E.F., López-Gómez, N.A., Candelaria-Silva, C.F., González-Reséndiz, L., Pacheco-Ramírez, C., & León-Tejera, H. (2019). Macroalgas marinas y costeras de Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. 57 pp. Ed. Pressas de Ciencias. <https://doi.org/10.22201/fc.0000001e.2019>
- Santos, J.P., Torres, P., Amorim, A.M., da Silva, B.N.T., Cursino dos Santos, D.Y.A., & Chow, F. (2023). Biostimulant potential of Brazilian macroalgae: seasonal variations and effects on early growth and germination of lettuce. *Brazilian Journal of Botany*, 46, 767–774. <https://doi.org/10.1007/s40415-023-00950-4>
- Sariñana-Aldaco, O., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Olivo, A., & González-Morales, S. (2022). The biostimulant effect of hydroalcoholic extracts of *Sargassum* spp. in tomato seedlings under salt stress. *Plants*, 11(22), 3180. <https://doi.org/10.3390/plants11223180>
- Vinoth, S., Gurusaravanan, P., & Jayabalan, N. (2012). Effect of seaweed extracts and plant growth regulators on high-frequency in vitro mass propagation of *Lycopersicon esculentum* L (tomato) through double cotyledonary nodal explant. *Journal of Applied Phycology*, 24, 1329–1337. <https://doi.org/10.1007/s10811-011-9717-9>