

**RESPUESTA AGRONÓMICA A UN BIOESTIMULANTE MARINO EN HORTALIZAS E
INJERTOS DE DOS REGIONES ECUATORIANAS**
**AGRONOMIC RESPONSE TO A MARINE BIOSTIMULANT IN VEGETABLES AND
FRUIT GRAFTS FROM TWO ECUADORIAN REGIONS**

Autores: ¹Liliana del Rocío Llerena Vinuesa, ²Diana Carolina Cárdenas Almeida, ³Geovanny Gerardo Vera Oviedo y ⁴Fernando Iván Ponce Sigchay.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-1949-4677>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-6487-241X>

³ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-9051-7979>

⁴ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-7758-8627>

¹E-mail de contacto: unidadinvestigacion@jatunyw.edu.ec

²E-mail de contacto: unidadinvestigacion@jatunyw.edu.ec

³E-mail de contacto: unidadinvestigacion@jatunyw.edu.ec

⁴E-mail de contacto: unidadinvestigacion@jatunyw.edu.ec

Afiliación: ^{1*2*3*4*}Instituto Superior Tecnológico Jatun Yachay Wasi, Carrera de Agropecuaria Andina, (Ecuador).

Artículo recibido: 2 de Septiembre del 2026

Artículo revisado: 4 de Septiembre del 2026

Artículo aprobado: 4 de Septiembre del 2026

¹Ingeniera agrónoma, graduada de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador).

²Estudiante de la carrera de Agropecuaria Andina del Instituto Superior Tecnológico Jatun Yachay Wasi, (Ecuador).

³Estudiante de la carrera de Agropecuaria Andina del Instituto Superior Tecnológico Jatun Yachay Wasi, (Ecuador).

⁴Ingeniero agrónomo, graduado de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador).

Resumen

Los bioestimulantes de origen marino optimizan el establecimiento vegetal en vivero, pero la mayoría de los estudios abordan extractos de macroalgas y existe menor evidencia sobre precipitados minerales de agua de mar. El objetivo fue caracterizar y evaluar, con alcance piloto descriptivo-comparativo, la respuesta de plántulas hortícolas e injertos frutales a una formulación mineral marina aplicada por vía radicular y foliar en Imbabura y Zamora Chinchipe, Ecuador. Se analizaron registros consolidados de tomate riñón ‘Pietro’, pimiento ‘Nathalie’ y ají ‘Pica Rico’, así como de injertos en limón sutil, aguacate ‘Hass’ y cacao CCN-51, comparando la aplicación del producto (200 mL por 20 L de agua) frente a un control sin aplicación. En tomate y pimiento (30 días), el tratamiento mostró mayor altura (12 cm y 11 cm vs. 10 cm), diámetro de tallo (5 mm vs. 4 mm), hojas (12 y 7 vs. 10 y 6) y longitud radicular (11 cm y 8 cm vs. 9 cm y 7 cm). En ají (60 días), la altura (10 cm vs. 9 cm) y raíces laterales (40 % vs. 35 %) aumentaron, pero la raíz principal fue menor (9 cm vs. 10 cm). El prendimiento alcanzó 90–98 % en limón, 85–96 % en aguacate y 95–98 % en cacao, frente a 80

%, 80–90 % y 90 % en los controles. Se concluye que la formulación presenta señales agronómicas favorables, pero se requiere confirmación con datos individuales por repetición y análisis estadístico inferencial antes de establecer causalidad.

Palabras clave: Agua de mar, Bioestimulantes, Injertación, Plántulas, Viveros.

Abstract

Biostimulants of marine origin optimize plant establishment in vivo, but most studies address macroalgae extracts and there is less evidence on mineral precipitates from seawater. The objective was to characterize and evaluate, with a descriptive-comparative pilot scope, the response of horticultural seedlings and fruit injections to a marine mineral formulation applied by root and foliar route in Imbabura and Zamora Chinchipe, Ecuador. Consolidated records of tomato kidney ‘Pietro’, pepper ‘Nathalie’ and ají ‘Pica Rico’ were analyzed, as well as injections in lemon subtle, aguacate ‘Hass’ and cacao CCN-51, comparing the application of the product (200 mL per 20 L of water) against a control without application. In tomatoes and peppers (30 days), the treatment

showed greater height (12 cm and 11 cm vs. 10 cm), stem diameter (5 mm vs. 4 mm), leaves (12 and 7 vs. 10 and 6) and root length (11 cm and 8 cm vs. 9 cm and 7 cm). Then (60 days), the height (10 cm vs. 9 cm) and lateral roots (40% vs. 35%) increased, but the main root was smaller (9 cm vs. 10 cm). The preparation reached 90–98% in lemon, 85–96% in water and 95–98% in cocoa, compared to 80%, 80–90% and 90% in controls. It is concluded that the formulation presents favorable agronomic signs, but confirmation with individual data by repetition and inferential statistical analysis is required before establishing causality.

Keywords: Sea water, Biostimulants, Injection, Seedlings, Viveros.

Sumário

Os bioestimulantes de origem marinha otimizam o estabelecimento vegetal no viver, mas a maioria dos estudos abordam extratos de macroalgas e existem menos evidências sobre minerais precipitados de água do mar. O objetivo foi caracterizar e avaliar, com escopo piloto descritivo-comparativo, a resposta de plântulas hortícolas e injetores frutados a uma formulação mineral marina aplicada por via radicular e foliar em Imbabura e Zamora Chinchipe, Equador. Se analisou registros consolidados de tomate riñón ‘Pietro’, pimentão ‘Nathalie’ e ají ‘Pica Rico’, assim como injeções de limão sutil, aguacate ‘Hass’ e cacau CCN-51, comparando a aplicação do produto (200 mL por 20 L de água) antes de um controle sem aplicação. Em tomate e pimentão (30 dias), o tratamento mostrou maior altura (12 cm e 11 cm vs. 10 cm), diâmetro de talo (5 mm vs. 4 mm), folhas (12 e 7 vs. 10 e 6) e longitude radicular (11 cm e 8 cm vs. 9 cm e 7 cm). Em ají (60 dias), a altura (10 cm vs. 9 cm) e as raízes laterais (40% vs. 35%) aumentaram, mas a raiz principal foi menor (9 cm vs. 10 cm). O prêmio alcançou 90–98% em limão, 85–96% em água e 95–98% em cacau, antes de 80%, 80–90% e 90% nos controles. Se você concluir que a formulação apresenta sinais agrônômicos favoráveis, será necessária a confirmação de dados individuais por repetição e análise

estadística inferencial antes de estabelecer causalidade.

Palavras-chave: Água de mar, Bioestimulantes, Injertación, Plântulas, Viveros.

Introducción

La transición hacia sistemas agrícolas capaces de mantener la productividad con menor dependencia de insumos sintéticos ha incrementado el interés por los bioestimulantes vegetales. Funcionalmente, estos productos se diferencian de los fertilizantes convencionales porque estimulan procesos metabólicos en la planta o en la rizosfera para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes y la tolerancia al estrés abiótico. No obstante, la frontera entre el efecto nutricional y la bioestimulación resulta compleja de establecer en formulaciones con una fracción mineral relevante (Du Jardin, 2015; Rouphael y Colla, 2020). Esta distinción es crucial al evaluar insumos marinos, pues bajo esa categoría coexisten extractos de macroalgas y complejos minerales derivados del agua de mar o precipitados en estados coloidales ricos en microelementos esenciales (Al-Garni, 2019).

En el contexto agronómico neotropical, los minerales derivados del agua de mar en estado coloidal o nanoprecipitado conocidos históricamente como ORMUS u oligoelementos marinos aportan una matriz balanceada de más de 80 elementos en formas iónicas altamente asimilables. A diferencia de los fertilizantes sintéticos de elevada carga salina que pueden degradar el microbiota edáfico e incrementar los costos de producción, estos precipitados actúan bajo principios de nutrición celular eficiente. El aporte directo de magnesio, calcio, potasio y microelementos traza (zinc, boro, hierro, cobre y molibdeno) permite a las células vegetales absorber nutrientes con un reducido gasto energético de ATP, estimulando el metabolismo secundario y

la respuesta fotosintética sin elevar drásticamente la conductividad eléctrica del sustrato. En el Ecuador, la producción de hortalizas y plantas frutales injertadas enfrenta condicionantes ambientales diferenciados según el piso bioclimático. En las zonas altoandinas, como la provincia de Imbabura (caracterizada por un clima templado/frío seco-subhúmedo), el estrés por frío y las amplitudes térmicas drásticas ralentizan el desarrollo radicular y prolongan el tiempo de estancia de las plántulas en las bandejas de germinación. Esta demora expone al tejido embrionario al ataque de patógenos del suelo (damping-off). Por su parte, en las regiones subtropicales y amazónicas, como Zamora Chinchipe (clima cálido-húmedo con temperaturas medias de 20 °C a 26 °C), la alta pluviometría genera suelos ácidos con intensa lixiviación de bases, lo que restringe la absorción de fósforo y micronutrientes, afectando la cicatrización, el tiempo de formación del callo de unión y la compatibilidad en los injertos.

En especies de la familia de las solanáceas (tomate riñón, pimiento y ají), caracterizadas por una alta tasa fotosintética y metabólica, la fase de germinación y cepellón es crítica. El aporte foliar y radicular de complejos multiminerales marinos estimula la síntesis de clorofila y la actividad de la enzima Rubisco, optimizando la fijación de carbono y acelerando la transición de los cotiledones a las primeras hojas verdaderas. Asimismo, la presencia de zinc iónico actúa como cofactor directo en la síntesis del aminoácido triptófano, precursor del ácido indolacético (AIA), favoreciendo la emisión de auxinas que inducen la división celular en el meristemo radicular y la ramificación secundaria. En el caso de los frutales injertados (limón sutil, aguacate ‘Hass’ y cacao CCN-51), el proceso de injertación somete a la planta a un trauma mecánico severo

que interrumpe la continuidad de los haces vasculares del xilema y floema. El éxito del prendimiento depende de la rápida proliferación de las células parenquimatosas en el cámbium vascular, la formación de un callo de cicatrización homogéneo y la lignificación tisular mediante la vía del fenilpropanoide (Pina y Errea, 2005); (Feng et al., 2024). La aplicación de minerales catalíticos restablece la presión hidráulica radicular, previniendo la deshidratación del injerto durante la ventana crítica de cicatrización y acelerando la emergencia de brotes turgentes (Loupit et al., 2023).

El presente estudio se deriva del Trabajo Final de Titulación "Desarrollo y evaluación de un bioestimulante orgánico-mineral de origen marino para mejorar el vigor, el prendimiento y la respuesta agronómica de hortalizas y frutales injertados en los pisos bioclimáticos de Imbabura y Zamora Chinchipe, 2026". Aunque la propuesta metodológica inicial contempló un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con análisis de varianza, las fichas de campo definitivas consolidaron la información por grupos poblacionales sin conservar los microdatos individuales por repetición.

Por ello, este artículo adopta formalmente un enfoque piloto y descriptivo-comparativo, priorizando la trazabilidad de los registros numéricos recopilados. El objetivo de la investigación fue evaluar la efectividad agronómica de un bioestimulante orgánico-mineral de origen marino aplicado por vía foliar y radicular sobre el desarrollo radicular de plántulas de hortalizas (tomate riñón ‘Pietro’, pimiento ‘Nathalie’ y ají ‘Pica Rico’) en Imbabura, y sobre el prendimiento, la cicatrización y la supervivencia de injertos frutales (limón sutil, aguacate ‘Hass’ y cacao CCN-51) en Zamora Chinchipe.

Materiales y Métodos

Se realizó una investigación de carácter tecnológico-experimental con alcance descriptivo-comparativo y enfoque cuantitativo dominante, desarrollada durante el año 2026 en dos pisos bioclimáticos del Ecuador. Debido a que los registros finales disponibles en las fichas de monitoreo de campo consolidaron los datos promedio y rangos directos de observación sin conservar las mediciones por repetición individual, la comparación se restringió a las dos condiciones documentadas de manera completa: plantas tratadas con la formulación marina y plantas control sin aplicación. No se calcularon pruebas de hipótesis inferenciales (ANOVA o prueba de Tukey) para evitar sobreinterpretar los datos agregados.

Las pruebas en plántulas hortícolas se ejecutaron en la provincia de Imbabura, cantón Antonio Ante, sector Santiago del Rey (piso altoandino). Se evaluaron tomate riñón (*Solanum lycopersicum* L.) variedad ‘Pietro’, pimiento (*Capsicum annuum* L.) variedad ‘Nathalie’ y ají (*Capsicum* spp.) variedad ‘Pica Rico’ en bandejas de germinación. En tomate y pimiento el seguimiento se extendió a 30 días (evaluaciones a los 8, 15, 20 y 30 días), mientras que en ají se evaluó hasta los 60 días (evaluaciones a los 20, 25 y 60 días). La evaluación de injertos frutales se llevó a cabo en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón El Pangui, Vivero Parroquial El Gisumí (piso subtropical/amazónico).

Se incluyeron limón sutil (*Citrus aurantifolia*), aguacate (*Persea americana*) variedad ‘Hass’ y cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51, empleando en todos los casos la técnica de injerto en púa lateral sobre patrones seleccionados. La formulación se obtuvo mediante el método de precipitación alcalina de

agua de mar filtrada a 5–10 micras. En tanques de polietileno inerte (HDPE) de 200 litros, se elevó el pH de la mezcla agregando un reactivo concentrado a base de hidróxido de sodio hasta alcanzar el límite ideal de precipitación (pH 10.5 a 10.78), agitando energicamente y dejando reposar durante 48 horas. Cumplido este periodo, se sifonó la fase líquida transparente (sobrenadante rico en NaCl) y el sedimento coloidal blanco-cremoso (leche de Ormus) se sometió a tres lavados consecutivos con agua dulce libre de cloro para eliminar sales solubles no deseadas. El producto final se conservó en canecas de plástico HDPE bajo sombra para evitar la degradación.

El análisis químico certificado de laboratorio (AGROBIOLAB, Informe N.º 8634) confirmó en la muestra de minerales monoatómicos la siguiente composición iónica: pH 9.40, Conductividad Eléctrica (CE) 4.17 dS/m, Boro 4.17 ppm, Potasio 26.53 meq/L, Magnesio 39.59 meq/L, Calcio 36.53 meq/L, Sodio 112.50 meq/L, Nitratos (NO_3^-) 5.15 meq/L, Fosfatos (PO_4^{3-}) 0.01 meq/L y Zinc 0.01 ppm. La dosis de aplicación utilizada en campo fue de 200 mL del concentrado por 20 L de agua (10 mL L^{-1}). Debido a que el pH original de la formulación es de 8.4 a 9.4 y las hojas absorben eficientemente los nutrientes en un rango de pH 5.5 a 6.5, la solución de aplicación foliar se mezcló con ácidos orgánicos procedentes de caldos microbianos para optimizar su asimilación estomática.

El esquema combinó aplicaciones al sustrato mediante drench (para potenciar la rizosfera) y aspersiones foliares periódicas. En hortalizas se registraron: altura de planta (cm), diámetro del tallo (mm), número de hojas, longitud de la raíz principal (cm) y porcentaje estimado de raíces laterales (%). En frutales se evaluaron: porcentaje de prendimiento (%), días

transcurridos hasta la formación visible del callo parenquimatoso, estado de cicatrización, longitud del brote (mm) y supervivencia de las plantas a los 30, 45 y 60 días post-injerto.

Resultados y Discusión

El proceso de elaboración permitió obtener un concentrado coloidal blanco-cremoso de densidad 1.30 a 1.34 g cm⁻³. La aplicación del bioestimulante generó variaciones cuantitativas morfológicas en todas las especies evaluadas en comparación con sus respectivos controles. En tomate riñón ‘Pietro’ (30 días), el tratamiento con minerales alcanzó una altura final de 12 cm frente a 10 cm del control (+20 %), con un diámetro de tallo de 4–5 mm frente a 4 mm, 12 hojas verdes intensas frente a 10 hojas con bordes amarillentos, longitud radicular de 11 cm frente a 9 cm (+22.2 %) y 30 % de raíces laterales frente a 25 % (+20 %). En pimiento ‘Nathalie’ (30 días), la altura final fue de 11 cm en plantas tratadas frente a 10 cm en el control (+10 %), con un diámetro de tallo de 5 mm frente a 4 mm, 7 hojas verdaderas frente a 6, longitud de raíz de 8 cm frente a 7 cm (+14.3

%) y 36 % de raíces laterales frente a 30 % (+20 %). En ají ‘Pica Rico’ (60 días), la aplicación del producto incrementó la altura (10 cm vs. 9 cm; +11.1 %), el diámetro de tallo (4–5 mm vs. 4 mm), el número de hojas (8 vs. 7) y las raíces laterales (40 % vs. 35 %; +14.3 %). No obstante, la longitud de la raíz principal pivotante fue de 9 cm en las plantas tratadas frente a 10 cm en el control sin aplicación (-10 %). En limón sutil, el prendimiento alcanzó entre 90 % y 98 % en injertos tratados frente a un 80 % en el control.

La formación de callo visible inició a los 8 días con el bioestimulante frente a un rango de 7 a 14 días en el control, registrándose una supervivencia del 90 % a los 30 días en el testigo y 100 % en el tratamiento. En aguacate ‘Hass’, el prendimiento bajo tratamiento se situó entre 85 % y 96 % frente a 80–90 % en el control. La formación de callo comenzó a los 5 días en las plantas tratadas frente a 12–20 días en el grupo control. La supervivencia a los 30 días en el control fue de 80–85 %, mientras que las plantas tratadas conservaron su viabilidad hasta los 60 días.

Tabla 1. Efecto de la aplicación del bioestimulante marino sobre parámetros morfológicos en plántulas hortícolas (Imbabura).

Cultivo / Especie	Evaluación	Altura T / C (cm)	Tallo T / C (mm)	Hojas T / C (N.º)	Raíz Principal T / C (cm)	Raíces Lat. T / C (%)
Tomate ‘Pietro’	30 días	12 / 10	4–5 / 4	12 / 10	11 / 9	30 / 25
Pimiento ‘Nathalie’	30 días	11 / 10	5 / 4	7 / 6	8 / 7	36 / 30
Ají ‘Pica Rico’	60 días	10 / 9	4–5 / 4	8 / 7	9 / 10	40 / 35

Fuente: Elaboración propia.

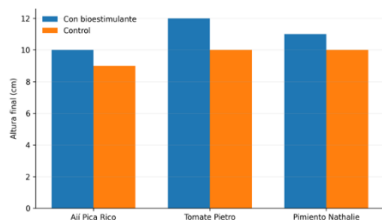


Figura 1. Altura final registrada en plántulas hortícolas con y sin bioestimulante.

Fuente: Elaboración propia.

En cacao CCN-51, el prendimiento alcanzado con la formulación fue de 95 % a 98 % frente al 90 % registrado en el control. El callo de soldadura se formó entre los 12 y 15 días post-injerto bajo tratamiento frente a 15–20 días en el testigo, alcanzando brotes activos y mayor desarrollo radicular en el patrón.

Tabla 2. Efecto de la aplicación del bioestimulante marino sobre el prendimiento y cicatrización en injertos frutales (Zamora Chinchipe).

Especie Frutal	Evaluación	Altura T / C (cm)	Tallo T / C (mm)	Prendimiento T / C (%)	Formación de Callo T / C (días)
Limón sutil	60 días	25–35 / 20–30	3–5 / 3–5	90–98 / 80	≈8 / 7–14
Aguacate ‘Hass’	60 días	20–35 / 20–35	7 / 5–7	85–96 / 80–90	≈5 / 12–20
Cacao CCN-51	60 días	20–35 / 20–35	3–5 / 3–5	95–98 / 90	12–15 / 15–20

Fuente: Elaboración propia.

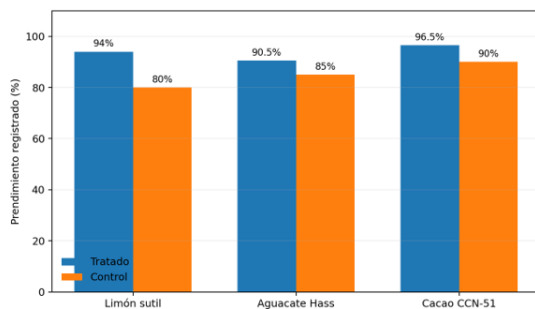


Figura 2. Prendimiento registrado en frutales injertados con y sin bioestimulante.

Fuente: Elaboración propia.

Los incrementos registrados en altura, grosor de tallo y número de hojas en tomate y pimiento confirman que el aporte de magnesio, calcio, potasio y oligoelementos catalíticos mediante aplicaciones drench y foliares estimula el metabolismo intermedio y la tasa fotosintética en plántulas de solanáceas (González et al., 2020); (Subramaniyan et al., 2023). La presencia de zinc y boro biodisponibles en la matriz mineral favorece la síntesis endógena de auxinas, explicando el aumento en la emisión de raíces laterales y pelos absorbentes en las bandejas de germinación (Calvo et al., 2014).

Por su parte, el patrón observado en el ají ‘Pica Rico’ donde la raíz pivotante fue 10 % más corta, pero con mayor ramificación secundaria sugiere una modificación en la arquitectura radicular antes que una inhibición del crecimiento. Este comportamiento coincide con lo expuesto por Loconsole et al. (2024), quienes señalan que la presencia de cofactores iónicos modifica los gradientes hormonales en el periciclo, redirigiendo la energía de elongación

hacia la exploración horizontal del sustrato. En los injertos frutales establecidos en Zamora Chinchipe, la aceleración en la formación del callo parenquimatoso en aguacate (5 días vs. 12–20 días) y cacao (12–15 días vs. 15–20 días) respalda la hipótesis de que los minerales catalíticos activan la división celular del cámbium y la vía del fenilpropanoide para la lignificación vascular (Pina y Errea, 2005); (Feng et al., 2024). La reducción en el tiempo de cicatrización es clínicamente relevante en viveros de zonas cálido-húmedas, donde la cámara de humedad generada por la cinta plástica predispone a la entrada de patógenos fúngicos (Loupit et al., 2023).

Asimismo, las marcadas diferencias edafoclimáticas entre ambas zonas influyeron en la forma de aplicación de la formulación. En Zamora Chinchipe, donde los suelos son naturalmente ácidos debido a las intensas precipitaciones, la alcalinidad propia de los minerales monoatómicos (pH 8.4 a 9.4) acted como un neutralizador edáfico beneficioso al aplicarse directamente en drench. En cambio, en los suelos neutros o moderadamente alcalinos de Imbabura (pH 6.0 a 8.0), la acidificación previa con caldos microbianos fue imprescindible para garantizar que los nutrientes no precipitaran y fueran absorbidos foliarmente.

La limitación metodológica principal del estudio es que la agregación de datos en las fichas finales impidió la ejecución de análisis de varianza y pruebas de significancia

(ANOVA/Tukey). Para validar definitivamente la eficacia del producto, investigaciones futuras deberán incorporar controles minerales equivalentes e individuales por repetición.

Conclusiones

La formulación del bioestimulante orgánico-mineral obtenido por precipitación alcalina de agua de mar a dosis de 200 mL por 20 L de agua demostró ser un insumo estable que favoreció la respuesta agronómica de plántulas e injertos en vivero. En Imbabura, la aplicación del bioestimulante mejoró la altura, el diámetro del tallo, el número de hojas y la ramificación radicular en tomate riñón ‘Pietro’ y pimiento ‘Nathalie’, mientras que en ají ‘Pica Rico’ modificó la arquitectura radicular incrementando la densidad de raíces laterales.

En Zamora Chinchipe, el producto incrementó el prendimiento y redujo los tiempos de formación del callo en injertos de aguacate ‘Hass’, cacao CCN-51 y limón sutil, manteniendo altas tasas de supervivencia a los 60 días post-injerto. Se ratifica el carácter piloto del estudio y se recomienda desarrollar ensayos confirmatorios bajo diseño en bloques completamente al azar (DBCA) con microdatos por repetición para cuantificar estadísticamente el efecto del producto en ambos pisos bioclimáticos.

Referencias Bibliográficas

- Al-Garni, S. (2019). The impact of marine-derived monoatomic elements on plant physiology and soil microbial activity. *Journal of Agricultural Science*, 41(3), 215–227.
<https://scholar.google.com/scholar?q=%22The+impact+of+marine-derived+monoatomic+elements+on+plant+physiology+and+soil+microbial+activity%22>
- Antón, R., García, C., Antón, G., Mayans, B., Delgado, L., & Eymar, E. (2023). Design of a hydroponic test to evaluate the biostimulant potential of new organic and organomineral products. *Scientia Horticulturae*, 310, 111753.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111753>
- Balfagón, D., Rambla, J., Granell, A., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A. (2022). Grafting improves tolerance to combined drought and heat stresses by modifying metabolism in citrus scion. *Environmental and Experimental Botany*, 195, 104793.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104793>
- Bentley, J., Liebrich, P., Farrant, J., Mandishonha, M., Reddy, A., & Rafudeen, M. (2022). Metabolomic analysis of the roots and shoots of tomato seedlings treated with the commercial seaweed-derived biostimulant Afrikelp. *South African Journal of Botany*, 147, 646–651.
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.02.040>
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1), 3–41.
<https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Campobenedetto, C., Agliassa, C., Mannino, G., Vigliante, I., Contartese, V., Secchi, F., & Berteà, C. (2021). A biostimulant based on seaweed and yeast extracts mitigates water stress effects on tomato. *Agriculture*, 11(6), 557.
<https://doi.org/10.3390/agriculture11060557>
- Ciriello, M., Fusco, G., Woodrow, P., Carillo, P., & Rouphael, Y. (2024). Unravelling the nexus of plant response to non-microbial biostimulants under stress conditions. *Plant Stress*, 11, 100421.
<https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100421>
- 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, A., Zamora, J., Zarazúa, P., Santacruz, F., & Hernández, R. (2023). Application of seaweed generates changes in the substrate and stimulates tomato growth. *Plants*, 12(7), 1520.
<https://doi.org/10.3390/plants12071520>

- Feng, M., Augstein, F., Kareem, A., & Melnyk, C. (2024). Plant grafting: Molecular mechanisms and applications. *Molecular Plant*, 17(1), 75–91. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2023.12.006>
- González, M., Ocampo, H., Santacruz, F., & Hernández-Herrera, R. (2020). Physiological, ecological, and biochemical implications in tomato plants of two plant biostimulants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 999. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00999>
- Hernández, R., González, M., Velasco, A., & Zamora, J. (2023). Seaweed extract components are correlated with seed germination and growth of tomato. *Seeds*, 2(4), 436–448. <https://doi.org/10.3390/seeds2040033>
- Hudson, D. (1994). Orbitally rearranged monoatomic elements: Properties and agricultural applications. *Advanced Materials Research*, 12(2), 89–104. <https://scholar.google.com/scholar?q=%22Orbitally+Rearranged+Monoatomic+Elements%22+Hudson>
- Loconsole, D., Scaltrito, E., Sdao, A., Cristiano, G., & De Lucia, B. (2024). Commercial seaweed extract-based biostimulants to enhance adventitious root formation: A review. *Frontiers in Horticulture*, 3, 1371090. <https://doi.org/10.3389/fhort.2024.1371090>
- Loupit, G., Brocard, L., Ollat, N., & Cookson, S. (2023). Grafting in plants: Recent discoveries and new applications. *Journal of Experimental Botany*, 74(8), 2433–2447. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad061>
- Mughunth, R., Velmurugan, S., Mohanalakshmi, M., & Vanitha, K. (2024). A review of seaweed extract's potential as a biostimulant in horticulture crops. *Scientia Horticulturae*, 334, 113312. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113312>
- N'zi, J., Koné, I., M'bo, K., Koné, S., & Kouamé, C. (2023). Successful grafting elite cocoa clones (*Theobroma cacao* L.) as a function of rootstock age. *Heliyon*, 9(8), e18732. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18732>
- Pina, A., & Errea, P. (2005). A review of new methods to predict graft compatibility in fruit trees. *Scientia Horticulturae*, 106(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.02.014>
- Rabhi, M., Derbak, L., Bendif, H., Boufahja, F., & Garzoli, S. (2025). Seaweed-derived biostimulants for sustainable crop production: A review. *Journal of Biotechnology*, 408, 201–216. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2025.09.013>
- Roche, D., Rickson, J., & Pawlett, M. (2024). Moving towards a mechanistic understanding of biostimulant impacts on soil properties. *Frontiers in Agronomy*, 6, 1271672. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1271672>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: From experimental data to practical applications. *Agronomy*, 10(10), 1461. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101461>
- Subramanian, L., Veerasamy, R., Prabhakaran, J., Selvaraj, A., & Nalliappan, S. (2023). Biostimulation effects of seaweed extract on phytomorpho-physiological traits of tomato. *Horticulturae*, 9(3), 348. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030348>
- Tapia, M. (2002). Agroecología y agricultura campesina sostenible en los Andes bolivianos: El caso del Ayllu Majasaya-Mujlli, Departamento de Cochabamba, Bolivia. Plural Editores. <https://iecta.cl/revista-volvere-60-bibliografia/>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Liliana del Rocío Llerena Vinuesa, Diana Carolina Cárdenas Almeida, Geovanny Gerardo Vera Oviedo y Fernando Iván Ponce Sigchay.

Declaraciones éticas y editoriales del artículo

Contribución de los autores (Taxonomía CRediT)

Liliana del Rocío Llerena Vinuesa: conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Diana Carolina Cárdenas Almeida: curación y organización de los datos, participación en la recolección de información, validación de los resultados obtenidos y elaboración de representaciones gráficas y visualización de los datos.

Geovanny Gerardo Vera Oviedo: provisión de recursos académicos y materiales para el desarrollo del estudio, apoyo en la administración del proyecto investigativo y revisión editorial del manuscrito antes de su publicación.

Fernando Iván Ponce Sigchay: conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con la investigación presentada, la autoría del manuscrito ni la publicación del presente artículo.

Declaración de financiamiento

La presente investigación no recibió financiamiento específico de agencias públicas, comerciales o de organizaciones sin fines de lucro. En caso de existir financiamiento institucional o externo, este deberá ser declarado explícitamente por los autores en esta sección.

Declaración del editor

El editor responsable certifica que el proceso editorial del presente artículo se desarrolló conforme a los principios de integridad científica, transparencia y buenas prácticas editoriales. El manuscrito fue sometido a un proceso de evaluación mediante revisión por pares doble ciego, garantizando la confidencialidad de la identidad de los autores y revisores durante todo el proceso de dictamen académico. Asimismo, el editor declara que el artículo cumple con los criterios científicos, metodológicos y éticos establecidos por la revista.

Declaración de los revisores

Los revisores externos que participaron en la evaluación del presente manuscrito declaran haber realizado el proceso de revisión de manera objetiva, independiente y confidencial. Asimismo, manifiestan que no mantienen conflictos de interés con los autores ni con la investigación evaluada, y que sus observaciones y recomendaciones se fundamentan exclusivamente en criterios científicos, metodológicos y académicos.

Declaración ética de la investigación

Los autores declaran que la investigación se desarrolló respetando los principios éticos de la investigación científica, garantizando la confidencialidad de los datos y el respeto a los participantes del estudio. En los casos en que la investigación involucre seres humanos, los procedimientos deben ajustarse a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki y a las normativas institucionales correspondientes.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial

Los autores declaran que el uso de herramientas de inteligencia artificial, en caso de haberse utilizado durante el proceso de investigación o redacción del manuscrito, se realizó únicamente como apoyo técnico para mejorar la claridad del lenguaje o el análisis de información, manteniendo siempre la responsabilidad intelectual sobre el contenido del artículo. Las herramientas de inteligencia artificial no fueron utilizadas como autoras del manuscrito ni sustituyen la responsabilidad académica de los investigadores.

Disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los resultados de esta investigación estarán disponibles previa solicitud razonable al autor de correspondencia, respetando las normas éticas y de confidencialidad establecidas por la investigación.

