



ARTÍCULO DE REVISIÓN / REVIEW ARTICLE

Macroalgas rojas: una alternativa ecológica para la agricultura sostenible del Ecuador

Red macroalgae: an ecological alternative for sustainable agriculture in Ecuador

Angela Pacheco Flores-de-Valgaz^{1,2*}, Estefany Lema Choez³, Jaime Naranjo-Morán¹ y Patricia Manzano Santana³

0000-0002-7417-7218

0000-0001-6875-1212

0000-0002-4410-9337

0000-0003-3189-6455

1. Carrera de Biotecnología, Grupo de Investigaciones en Aplicaciones Biotecnológicas (GIAB); Universidad Politécnica Salesiana, Campus María Auxiliadora, Km 19.5 Vía a la Costa, P.O. Box 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador. apachecof@ups.edu.ec*, jnaranjo@ups.edu.ec
2. Laboratory of Crop Protection Chemistry, Department of Plants and Crops, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, 9000 Ghent, Belgium. angela.pachecofloresdevalgaz@ugent.be
3. Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE), Campus Gustavo Galindo, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Espol, Km 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil P.O. Box 09-01-5863, Ecuador. ealema@espol.edu.ec, pmanzano@espol.edu.ec.

* Autor de correspondencia / Corresponding author

RESUMEN

El empleo de compuestos bioactivos extraídos de macroalgas en forma de formulaciones agrícolas representa una tecnología emergente con gran potencial para reducir la dependencia de agroquímicos sintéticos. Al presente, los extractos de algas marinas se consideran un recurso sostenible debido a su carácter biodegradable. En esta revisión se discute su potencial para reemplazar o reducir a una variedad de moléculas sintéticas en cultivos económicamente importantes, tales como fertilizantes sintéticos nitrogenados y fosfatados, reguladores del crecimiento hormonales sintéticos y plaguicidas organoclorados y organofosforados. Por la presencia de una extensa gama de sustancias bioactivas ya registradas en ciertas algas se prevén como buenos candidatos para la producción de bioformulaciones vegetales. En este sentido, el aprovechamiento comercial y biotecnológico de las macroalgas podría beneficiar la economía local. Sin embargo, pese a todo el potencial de las algas existe muy poca información de su contenido metabólico o químico total. Esta revisión bibliográfica resume información que propone el uso de las macroalgas *Kappaphycus alvarezii*, *Acanthophora spicifera* e *Hypnea spinella* dentro del sector agrícola ecuatoriano como alternativa para la reducción de pesticidas.

PALABRAS CLAVES: bioestimulantes, metabolitos algales/macroalgales, agroquímicos.

ABSTRACT

The use of bioactive compounds from macroalgae in agricultural formulations is an emerging technology with great potential to reduce dependence on synthetic agrochemicals. Currently, seaweed extracts are considered a sustainable resource due to their biodegradable nature. This review discusses their potential to replace or reduce a variety of synthetic molecules in economically important crops, such as synthetic nitrogen and phosphate fertilisers, synthetic hormone growth regulators, and organochlorine and organophosphate pesticides. Due to the presence of a wide range of bioactive substances already reported in certain algae, they are foreseen as good candidates for the production of plant bioformulations. In this sense, the commercial and biotechnological exploitation of macroalgae could benefit the local economy. However, despite the potential of algae, there is very little information on their total metabolomic or chemical content. This literature review summarises information proposing the use of the macroalgae *Kappaphycus alvarezii*, *Acanthophora spicifera* and *Hypnea spinella* in the Ecuadorian agricultural sector as an alternative for pesticide reduction.

KEY WORDS: biostimulants, macroalgae metabolites, agrochemicals

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2024.53.2.1311>

Publicado por Invemar

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by Invemar
This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

INTRODUCCIÓN

Los patógenos y plagas de cultivos son responsables de pérdidas agrícolas masivas a nivel mundial (Roy *et al.*, 2022), a esto se suma el uso continuo y creciente de productos químicos sintéticos para controlarlos, lo cual representa un riesgo constante sobre la salud humana y el medio ambiente (Shukla *et al.*, 2021). En países en vía de desarrollo, como Ecuador, la agricultura ha sido considerada enemiga del ambiente por la falta de regulaciones estrictas sobre el uso de ingredientes activos dañinos. Mientras que, en continentes como el europeo, ya comenzaron esfuerzos para suprimir el uso de agroquímicos como la estrategia de la “granja a la mesa”, que pretende, como parte de sus objetivos para 2030, reducir en 50 % el uso de plaguicidas y fertilizantes sintéticos. En consecuencia, las prácticas agrícolas sostenibles ameritarán compuestos novedosos y respetuosos con el medio ambiente que fomenten la inmunidad de las plantas contra los patógenos (European Commission *et al.*, 2020).

Se conoce que las plantas responden al ataque de patógenos de dos maneras principales: por resistencia sistémica adquirida o por resistencia sistémica inducida (Shukla *et al.*, 2021). Al presente, algunos investigadores están atrayendo la atención a estrategias sostenibles de resistencia biótica inducida mediante la aplicación de elicitores naturales (Patel *et al.*, 2018; Shukla *et al.*, 2021; Roy *et al.*, 2022). En búsqueda de nuevas estrategias de control de patógenos, en las últimas décadas la literatura menciona una elevada tendencias de uso de algas marinas por sus compuestos bioactivos presentes (Patel *et al.*, 2018; Agarwal *et al.*, 2021). Su incorporación a la producción de diversos cultivos produce una amplia gama de respuestas positivas en el sistema planta-suelo. Según Agarwal *et al.* (2021), los extractos de algas, ricos en biomoléculas, actúan como bioelicitores para mejorar la tolerancia de las plantas a las enfermedades. Agarwal *et al.* (2021) sugieren que los extractos de diversas algas estimulan mecanismos de defensa a nivel fisiológico, bioquímico y molecular, regulando las vías de señalización, la homeostasis del estrés oxidativo y la expresión de genes y enzimas defensivas. Además, modulan la microbiota de la rizosfera, reforzando la protección contra patógenos. Ali *et al.* (2021) plantean que la eficacia de estos extractos se debe a una compleja mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, no a componentes individuales, resaltando la importancia de las interacciones entre sus diversos componentes.

En España y Estados Unidos existen empresas líderes en la producción de bioestimulantes y biofertilizantes a base de algas con evidencia suficiente sobre los extractos de algas y sus propiedades antivirales, antibacterianas o antifúngicas

INTRODUCTION

Crop pathogens and pests are responsible for massive agricultural losses worldwide (Roy *et al.*, 2022). Moreover, the continuous and increasing use of synthetic chemical products to control these issues represents a constant risk to human health and the environment (Shukla *et al.*, 2021). In developing countries such as Ecuador, agriculture has been regarded as an enemy of the environment due to the lack of strict regulations regarding the use of harmful active ingredients. Meanwhile, in continents like Europe, efforts are already underway to suppress the use of agrochemicals, as is the case of the From farm to fork strategy, which, within its objectives for 2030, aims to reduce the use of pesticides and synthetic fertilizers. In this vein, sustainable agricultural practices will merit novel and environmentally friendly compounds that foster plant immunity against pathogens (European Commission *et al.*, 2020).

It is known that plants respond to pathogen attacks in two main ways: acquired or induced systemic resistance (Shukla *et al.*, 2021). At present, some researchers are focusing their attention on sustainable induced biotic resistance strategies by means of natural elicitors (Patel *et al.*, 2018; Shukla *et al.*, 2021; Roy *et al.*, 2022). Incorporating them in the production of various crops entails a broad range of positive responses in the plant-soil system. According to Agarwal *et al.* (2021), algae extracts, which are rich in biomolecules, act as bio-elicitors to improve plants' tolerance to diseases. Agarwal *et al.* (2021) suggest that the extracts from a diversity of algae stimulate defense mechanism at the physiological, biochemical, and molecular levels, regulating signaling pathways, oxidative stress homeostasis, and the expression of defensive genes and enzymes. In addition, they modulate the rhizosphere microbiota, reinforcing protection against pathogens. Ali *et al.* (2021) posit that the efficacy of these extracts is due to a complex mixture of organic and inorganic substances, not to individual components, highlighting the importance of the interaction between an extract's diverse components.

In Spain and the United States, there are leading companies in the production of algae-based biostimulants and bio-fertilizers. These companies possess substantial evidence regarding algae extracts and their antiviral, antibacterial, or antifungal properties, making them promising substitutes for enhancing plant defenses (Roy *et al.*, 2022). In this vein, stimulating plant immunity using seaweed extracts could be a feasible strategy for naturally

que les facultan como sustitutos prometedores para mejorar las defensas en las plantas (Roy *et al.*, 2022). En este aspecto, estimular la inmunidad de las plantas usando extractos de algas marinas podría ser una estrategia viable para aumentarla de forma natural a fin de reducir el uso de plaguicidas en países agrícolas (Shukla *et al.*, 2021). Además, representan la oportunidad del desarrollo de nuevas industrias.

Las algas marinas se clasifican en tres grandes grupos que son Clorófitas (verdes), Feófitas (pardas) y Rodófitas (rojas). Estos organismos marinos son relativamente abundantes en la zona costera del Ecuador, país que cuenta con un perfil costero continental de 2860 km (Jiménez y Torres, 2023), siendo bahía de Salinas y el golfo de Guayaquil las regiones que han registrado una mayor variedad de especies (Jiménez y Torres, 2023; Valverde-Balladares y Armas, 2023). Con el fin de promover alternativas innovadoras para problemáticas actuales de los agroquímicos, el objetivo de esta revisión bibliográfica es sintetizar el potencial biotecnológico de macroalgas dentro del sector agrícola ecuatoriano con enfoque en el cultivo de *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex PCSilva 1996 (Solieriaceae), *Acanthophora spicifera* (M. Vahl) Børgesen 1910 (Rhodomelaceae) e *Hypnea spinella* (C. Agardh) Kützinger 1847 (Cystocloniaceae) como parte de una opción sustentable para el desarrollo de productos relacionados al mejoramiento de la calidad de los cultivos cosechados en el país.

Estrategia metodológica de búsqueda

Para la presente revisión se emplearon las bases de datos de Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, SciELO y Springer para la recopilación de artículos relevantes. Se hizo uso de términos claves tales como “Metabolitos en *Kappaphycus alvarezii*, *Acanthophora spicifera* y *Hypnea spinella*”, “agroquímicos en cultivos del Ecuador” y “savia de *K. alvarezii*, *A. spicifera* y *H. spinella*”. Algunas preguntas de investigación que motivaron este artículo fueron ¿Cuáles son los compuestos bioactivos presentes en macroalgas que pueden ser utilizados para mejorar la calidad de los cultivos en países agrícolas? y ¿Cuáles son los metabolitos presentes en *K. alvarezii*, *A. spicifera* y *H. spinella* que tienen posibles propiedades biopesticidas, biofertilizantes o bioestimulantes? La recopilación fue limitada para artículos de investigación publicados en idioma inglés y español en el periodo de 2002 a 2023. Los hallazgos de las últimas dos décadas sirvieron para la elaboración de una tabla y la discusión de los avances con enfoque nacional para el aprovechamiento de estas macroalgas en cultivos que emplean agroquímicos en concentraciones no aceptables.

increasing immunity while aiming to reduce the use of pesticides in agricultural countries (Shukla *et al.*, 2021). In addition, it represents an opportunity for the development of new industries.

Seaweeds are classified into three major groups: Chlorophytes (green), Phaeophytes (brown), and Rhodophytes (red). These marine organisms are relatively abundant in the coastal zone of Ecuador, a country with a coastal continental profile of 2860 km (Jiménez and Torres, 2023), where Salinas Bay and the Gulf of Guayaquil have recorded the greatest diversity of species (Jiménez and Torres, 2023; Valverde-Balladares and Armas, 2023). With the purpose of promoting innovative alternatives for the current issues with agrochemicals, this literature review aimed to synthesize the biotechnological potential of macroalgae within the Ecuadorian agricultural sector, focusing on the cultivation of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex PCSilva 1996 (Solieriaceae), *Acanthophora spicifera* (M. Vahl) Børgesen 1910 (Rhodomelaceae), and *Hypnea spinella* (C. Agardh) Kützinger 1847 (Cystocloniaceae) as part of a sustainable option for the development of products related to improving the quality of the crops grown in the country.

Methodological search strategy

For this review, the Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, SciELO, and Springer databases were used to collect relevant articles. The key terms employed (in Spanish) included “Metabolites in *Kappaphycus alvarezii*, *Acanthophora spicifera*, and *Hypnea spinella*”, “agrochemicals in Ecuadorian crops”, and “sap from *K. alvarezii*, *A. spicifera*, and *H. spinella*”. The research questions that motivated this article were what are the bioactive compounds present in macroalgae that can be used to improve the quality of crops in agricultural countries? and what are the metabolites present in *K. alvarezii*, *A. spicifera*, and *H. spinella* that have potential biopesticidal, biofertilizer, or biostimulant properties? The search was limited to research articles published in English and Spanish during the 2002-2023 period. The findings from the last two decades helped to elaborate a table and discuss advancements with a national focus for the utilization of the aforementioned macroalgae in crops which use agrochemicals at unacceptable concentrations.

Generalidad de las macroalgas

Las algas marinas son uno de los componentes importantes de los productores primarios (Ali *et al.*, 2021) y desempeñan un papel clave en el ecosistema marino. Son alimento para una gran variedad de organismos, desde peces hasta mamíferos marinos. También contribuyen a la formación de arrecifes de coral y a la protección de las costas contra la erosión (Murugaiyan, 2020). Su cultivo está alineado con los principios de producción sostenible, ya que pueden mitigar cerca de 200 millones de toneladas de CO₂/año (FAO, 2022), sin necesidad de agua dulce ni competencia por la tierra, en relación con la producción de alimentos (Rudke *et al.*, 2020). Las algas marinas pueden reducir las concentraciones de nitrógeno y fósforo en los sistemas acuáticos, sirviendo de fuente natural de los mismos (FAO, 2022).

Las macroalgas contienen una amplia gama de compuestos químicos, destacando: polisacáridos, aminoácidos, enzimas, polifenoles, florotaninos, pigmentos vegetales, ácidos grasos insaturados, esteroides, osmoprotectores, compuestos antimicrobianos y hormonas vegetales (Agarwal *et al.*, 2021). Sin embargo, estos compuestos bioactivos pueden variar por diferentes factores como la especie, lugar de la cosecha, temporada, condiciones ambientales y el método de extracción (Matos *et al.*, 2021; Lema Ch. *et al.*, 2023). Los polifenoles y los polisacáridos que caracterizan a las algas pueden actuar como elicitores desde concentraciones bajas induciendo inmunidad contra patógenos de las plantas al reconocer patrones moleculares asociados a patógenos, los cuales pueden unirse a los receptores de reconocimiento en la membrana de la célula vegetal. Su unión al receptor en la membrana celular de la planta conduce a la activación de eventos de señalización que desencadenarán una respuesta de defensa (Shukla *et al.*, 2021). La presencia de estos compuestos bioactivos ha despertado el interés de varias empresas agroquímicas para la producción de bioestimulantes comerciales utilizando la biomasa de algas. Además, pueden mezclarse en formulaciones agrícolas que contengan urea, ácidos húmicos, sulfato de potasio y fosfato de amonio para el crecimiento y desarrollo de plantas (Flórez-Jalixto *et al.*, 2021).

En el litoral de Ecuador se han identificado un total de 345 especies de algas de las cuales 13.9 % corresponden a Chlorophyta, 14.4 % a Phaeophyta y 77.7 % a Rhodophyta (Valverde-Balladares y Armas, 2023). Cada grupo contiene una diversidad de metabolitos secundarios que les otorgan múltiples propiedades que son utilizadas comercialmente para diferentes fines, incluida la agricultura (Illera-Vives *et al.*, 2020). Dentro del grupo de las algas rojas en Ecuador,

Overview of macroalgae

Seaweeds are one of the main components of primary producers (Ali *et al.*, 2021) and play a significant role in the marine ecosystem. They serve as food for a wide variety of organisms, from fish to marine mammals. They also contribute to the formation of coral reefs and the protection of coastlines against erosion (Murugaiyan, 2020). Their cultivation aligns with the principles of sustainable production, as they can mitigate about 200 million tons of CO₂/year (FAO, 2022) without the need for freshwater or competition for land regarding food production (Rudke *et al.*, 2020). Seaweeds can reduce nitrogen and phosphorus concentrations in aquatic systems, acting as a natural source of these elements (FAO, 2022).

Macroalgae contain a wide range of chemical compounds, highlighting polysaccharides, amino acids, enzymes, polyphenols, phlorotannins, plant pigments, unsaturated fatty acids, sterols, osmoprotectants, antimicrobial compounds, and plant hormones (Agarwal *et al.*, 2021). However, these bioactive compounds can vary due to factors such as the species, harvest location, season, environmental conditions, and extraction method (Matos *et al.*, 2021; Lema Ch. *et al.*, 2023). The polyphenols and polysaccharides that characterize algae can act as elicitors at low concentrations, inducing immunity against plant pathogens by recognizing molecular patterns associated with them, which can bind to recognition receptors on the plant cell membrane. Their binding to the receptor on the plant cell membrane leads to the activation of signaling events that trigger a defense response (Shukla *et al.*, 2021). The presence of these bioactive compounds has sparked the interest of various agrochemical companies for the production of commercial biostimulants using algae biomass. In addition, these compounds can be mixed into agricultural formulations containing urea, humic acids, potassium sulfate, and ammonium phosphate for plant growth and development (Flórez-Jalixto *et al.*, 2021).

In the littoral of Ecuador, a total of 345 species of algae have been identified, out of which 13.9 % correspond to Chlorophyta, 14.4 % to Phaeophyta, and 77.7 % to Rhodophyta (Valverde-Balladares and Armas, 2023). Each group contains a diversity of secondary metabolites that confer multiple properties used commercially for various purposes, including agriculture (Illera-Vives *et al.*, 2020). Within the group of red algae in Ecuador, *Kappaphycus alvarezii*, *Acanthophora spicifera*, and *Hypnea spinella* are underutilized at the local level, as they primarily provide



Kappaphycus. alvarezii, *Acanthophora spicifera* e *Hypnea spinella* son subaprovechadas a nivel local, ya que su lucro es mayoritariamente como ficocoloide, pero le caracterizan varios metabolitos adicionales de interés biotecnológico (Tabla 1). La mayor parte de su producción se concentra en la provincia de Santa Elena, en la costa del Pacífico ecuatoriano y se destinada para Estados Unidos, Europa y Asia.

profit as phycocolloids, but they are characterized by several additional metabolites of biotechnological interest (Table 1). Most of their production is concentrated in the province of Santa Elena, on the Ecuadorian Pacific coast, and is destined for the United States, Europe, and Asia.

Tabla 1. Compuestos bioactivos de *K. alvarezii*, *A. spicifera* e *H. spinella*. GAE: ácido gálico equivalente, DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidracilo, Ps: peso seco, Pf: peso fresco o húmedo, -: no registrado

Table 1. Bioactive compounds from *K. alvarezii*, *A. spicifera*, and *H. spinella*. GAE: equivalent gallic acid, DPPH: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl. Ps: dry weight, Pf: fresh or wet weight, -: not reported.

Macroalga / Macroalgae	Molécula / Molecule	Tipo / Type	Concentración / Concentration	Referencias / References
<i>K. alvarezii</i>	Hormonas vegetales / Plant hormones	Citoquinina / Cytokinin	10.69-11.43 ppm Pf	Cokrowati <i>et al.</i> (2023)
		Auxinas / Auxins	14.27-1078.25 ppm Pf	
		Giberelina / Gibberelin	0- 0.49 ppm Pf	
	Ficocoloide / Phycocolloid	Carragenina / Carrageenan	44.77 – 63.96 % Pf	Patel <i>et al.</i> ,(2018)
	Pigmentos y aminoácidos esenciales / Pigments and essential amino acids	Clorofila / Chlorophyll	12.25- 38.01 µg/g Ps	Aminah y Xiren (2017), Brotosudarmo <i>et al.</i> (2018), Rudke <i>et al.</i> (2020) y Uju <i>et al.</i> (2020)
		β-caroteno / β-carotene	2.92- 5.72 µg/g Ps	
		Zeaxantina / Zeaxanthin	1.39- 3.21 µg/g Ps	
		Fucoxantina / Fucoxanthin	-	
		Ficoeritrina / Phycoerythrin	1.91 mg/mL Ps	
		Ficocianina / Phycocyanin	-	
		Ácidos aspárticos / Aspartic acids	4.19 mg/g Ps	
		Fenilalanina / Phenylalanine	3.02 mg/g Ps	
		Ácido glutámico / GLutamic acid	3.16 mg/g Ps	
		Leucina / Leucine	0.32-0.56 mg/100 mg Ps	
	Treonina / Threonine	0.19-0.32 mg/100 mg Ps		
	Compuestos fenólicos / Phenolic compounds	Ácido 3-hidroxibenzoico / 3-hydroxybenzoic acid	-	Baskararaj <i>et al.</i> (2020)
		Ácido gálico / Gallic acid	-	
		Ácido clorogénico / Chlorogenic acid	-	
		Ácido cinámico / Cinnamic acid	-	
		Artemiseol	-	
	Carbotioamida de hidrazina / Hydrazine carbothioamide	-		

Macroalga / Macroalgae	Molécula / Molecule	Tipo / Type	Concentración / Concentration	Referencias / References
<i>A. spicifera</i>	Hormonas vegetales / Plant hormones	Auxina / Auxin	-	Guillén <i>et al.</i> (2022)
		Giberelina / Gibberelin	157 µg/g Pf	
		Citoquinina / Cytokinin	15.3 µg/g Pf	
	Compuestos / Compounds	Fenoles / Phenols	7.84–40.58µg/mg GAE Ps	Zakaria <i>et al.</i> (2011)
	Antioxidantes / Antioxidants	DPPH	6.8–50.1 % Ps	
	Aminoácidos esenciales / Essential amino acids	Ácido aspártico / Aspartic acid	45 mg/g Ps	Ramu Ganesan <i>et al.</i> (2020)
		Ácido glutámico / Glutamic acid	76 mg/g Ps	
		Histidina / Histidine	42.6 mg/g Ps	
		Glicina / Glycine	37.54 mg/g Ps	
		Treonina / Threonine	52.3 mg/g Ps	
		Arginina / Arginine	12.6 mg/g Ps	
		Tirosina / Tyrosine	46.3 mg/g Ps	
		Metonina / Methionine	16.2 mg/g Ps	
		Isoleucina / Isoleucine	36.8 mg/g Ps	
		Lisina / Lysine	52.6 mg/g Ps	
		Alanina / Alanine	34.2 mg/g Ps	
		Fenilalanina / Phenylalanine	54.6 mg/g Ps	
		Prolina / Proline	17.8 mg/g Ps	
		Leucina / Leucine	49 mg/g Ps	
	Valina / Valine	44.5 mg/g Ps		
Ácidos grasos / Fatty acids	Cáprico / Capric	1.86 % Ps	Ramu Ganesan <i>et al.</i> (2020)	
	Decílico / Decylic	1.86 % Ps		
	Láurico / Lauric	4.39 % Ps		
	Mirístico / Myristic	3.95 % Ps		
	Pentadecíclico / Pentadecyclic	0.90 % Ps		
	Margárico / Margaric	0.50 % Ps		
	Estéarico / Stearic	2.97 % Ps		
	Laurosteárico / Laurostearic	4.39 % Ps		
	Palmítico / Palmitic	23.93 % Ps		

Macroalga / Macroalgae	Molécula / Molecule	Tipo / Type	Concentración / Concentration	Referencias / References
<i>H. spinella</i>	Isoflavonas / Isoflavones	Daidzin	1.40 ng/g Ps	Klejdus <i>et al.</i> (2010)
		Genistin	8.86 ng/g Ps	
		Ononin	24.83 ng/g Ps	
		Daidzein	7.39 ng/g Ps	
		Sissotrin	22.98 ng/g Ps	
		Genistein	13.14 ng/g Ps	
		Formononetin	13.10 ng/g Ps	
		Biochanin A	15.05 ng/g Ps	
	Polisacárido sulfatado / Sulfated polysaccharide	Fucoidanos / Fucoidans	-	Gara <i>et al.</i> (2022)
	Compuestos antioxidantes / Antioxidant compounds	Carotenoides totales / Total carotenoids	1.15 mg/g Ps	Ruiz-Medina <i>et al.</i> (2022)
		Taninos condensados / Condensed tannins	0.67 mg GAE/g Ps	
		Fenoles / Phenols	5.59 mg GAE/g Ps	
		Flavonoides / Flavonoids	1.14 mg GAE/g Ps	
		Prolina / Proline	0.5 µmol/g Ps	

A pesar de contar con condiciones climáticas tropicales favorables y extensas zonas costeras, Ecuador aún se encuentra en las primeras etapas de desarrollo en cuanto a la producción y cultivo de algas. Esto se refleja en su ausencia entre los principales productores de algas a nivel mundial (Cai *et al.*, 2021). En 2019, la producción global de algas marinas alcanzó 35.8 millones de toneladas, con la participación de 49 países y territorios (Cai *et al.*, 2021). Asia concentra 97 % de la producción mundial, mientras que en América y Europa predomina la recolección silvestre. En contraste, el cultivo es el método principal en Asia, África y Oceanía (Cai, 2021).

La incipiente producción de algas en Ecuador puede atribuirse a su corta trayectoria en el ámbito del cultivo controlado de este recurso. Sin embargo, el país cuenta con potencial para desarrollar esta actividad, como lo indica el informe de la FAO “Algas y microalgas: una visión general para liberar su potencial en el desarrollo de la acuicultura mundial” donde se menciona la producción ecuatoriana de los géneros *Kappaphycus* y *Eucheuma*, aunque con un porcentaje mundial inferior a 0.01 % (Cai *et al.*, 2021).

Despite its favorable tropical climatic conditions and extensive coastal areas, Ecuador is still in the early stages of development regarding algae production and cultivation. This is reflected in its absence among the major global algae producers (Cai *et al.*, 2021). In 2019, the global seaweed production reached 35.8 million tons, with the participation of 49 countries and territories (Cai *et al.*, 2021). Asia concentrates 97 % of the global production, whereas, in America and Europe, there is a predominance of wild harvesting. In contrast, cultivation is the main method in Asia, Africa, and Oceania (Cai, 2021).

The nascent algae production in Ecuador can be attributed to its short history regarding the controlled cultivation of this resource. However, the country has the potential to perform this activity, as indicated by the FAO report titled *Algae and microalgae: An overview to unlock their potential in the development of global aquaculture*, which mentions Ecuadorian production of the genera *Kappaphycus* and *Eucheuma*, albeit with a global percentage of less than 0.01 % (Cai *et al.*, 2021).

Según Jiménez y Torres (2023), Ecuador cuenta con las condiciones apropiadas para ampliar la diversificación de la acuicultura con mayor enfoque sobre los cultivos de macroalgas, especialmente en la provincia de Santa Elena. En su investigación, se identifican al menos 10 puntos en la costa del Ecuador repartidos en cinco provincias que cumplen con características oceanográficas, ambientales, biológicas y sociales para la instalación de nuevas granjas marinas de macroalgas (Figura 1).

Investigaciones como la de Montúfar-Romero *et al.* (2023) demuestran que el crecimiento de la macroalga *K. alvarezii* en Ecuador es superior a estudios previos realizados en otras regiones tropicales y subtropicales. La tasa de crecimiento diaria obtenida en ese estudio fue de 15.2 % g.día⁻¹, superando los datos previos tanto en el Atlántico como en Asia. Las características geográficas y las condiciones favorables para el crecimiento de las macroalgas en Ecuador, junto con los resultados prometedores de investigaciones como la de Jiménez y Torres (2023) y Montúfar-Romero *et al.* (2023), abren un panorama alentador para el desarrollo del cultivo de macroalgas en el país.

According to Jiménez and Torres (2023), Ecuador has appropriate conditions to expand its diversification of aquaculture, with a greater focus on macroalgae cultivation, especially in the province of Santa Elena. In their research, they identify at least 10 locations along the Ecuadorian coast, spread across five provinces, that meet the oceanographic, environmental, biological, and social characteristics for establishing new macroalgae marine farms (Figure 1).

Works such as Montúfar-Romero *et al.* (2023) demonstrate that the growth of the macroalgae *K. alvarezii* in Ecuador exceeds previous studies conducted in other tropical and subtropical regions. The daily growth rate obtained in that study was 15.2 % g.day⁻¹, surpassing previous data on both the Atlantic and Asia. The geographical characteristics and favorable conditions for macroalgae growth in Ecuador, together with promising results from studies such as Jiménez and Torres (2023) and Montúfar-Romero *et al.* (2023), show an encouraging landscape for the development of macroalgae cultivation in the country.

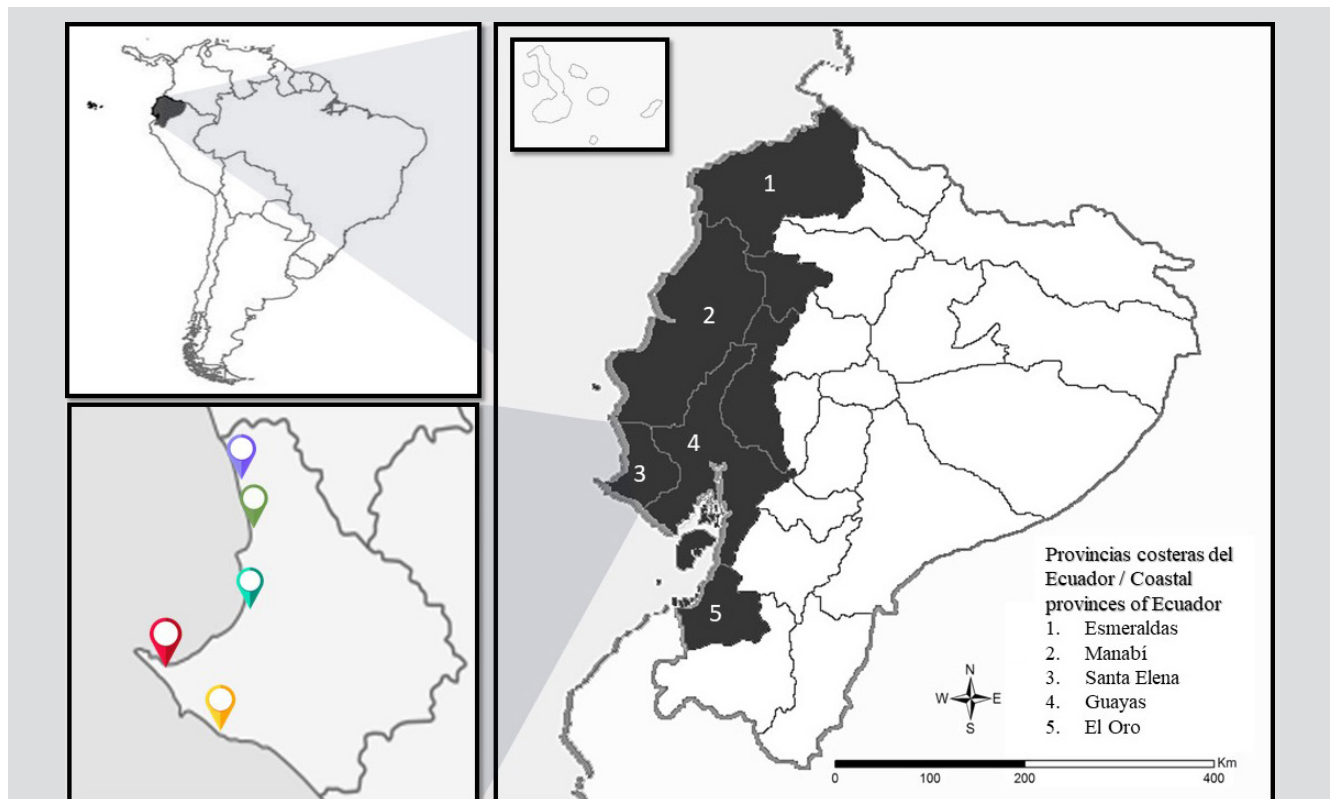


Figura 1. Provincias costeras del Ecuador con parámetros oceanográficos idóneos para el cultivo de macroalgas, según Jiménez y Torres (2023).
 ■ Santa Rosa, Salinas – principal área de cultivo de *K. alvarezii*.
 ■ ■ ■ ■ Otros sectores en la provincia de Santa Elena con sistemas flotantes para el cultivo de macroalgas.

Figure 1. Coastal provinces of Ecuador with suitable oceanographic parameters for macroalgae cultivation according to Jiménez and Torres (2023).
 ■ Santa Rosa, Salinas – main cultivation area for *K. alvarezii*.
 ■ ■ ■ ■ Other sectors within the province of Santa Elena with floating systems for macroalgal cultivation.

Efecto de la aplicación de bioestimulantes a base de macroalgas en diferentes cultivos

Según el boletín de Comercio Exterior (2023), las exportaciones de frutas de Ecuador han incrementado en los últimos años. En 2022, el valor de las exportaciones de frutas de Ecuador fue de \$1200 millones. Este crecimiento se debe a una serie de factores, incluyendo la creciente demanda de frutas ecuatorianas en los mercados internacionales, la mejora de la calidad de las frutas ecuatorianas y la expansión de la producción de frutas en Ecuador.

El uso de macroalgas en la agricultura sostenible es una práctica que está ganando popularidad en Ecuador. El gobierno ecuatoriano está apoyando el desarrollo de esta práctica, pues ofrece una oportunidad para mejorar la sostenibilidad de la agricultura en el país. Por tal motivo es importante considerar la idoneidad y riqueza nutricional del desecho de las macroalgas rojas para emplearse en la agricultura sostenible del Ecuador.

Kappaphycus, *Laminaria*, *Ascophyllum*, *Enteromorpha*, *Sargassum* y *Ulva* son los géneros de macroalgas más empleados a nivel mundial para la fabricación de bioestimulantes vegetales en forma de concentrado líquido y polvo soluble (Cai *et al.*, 2021; Pandya y Mehta, 2023). Su matriz orgánica es generalmente compleja, compuesta por oligoelementos, minerales (Tabla 2), aminoácidos, lípidos, carbohidratos y hormonas promotoras (auxinas, citoquininas, giberelinas y betainas) que son responsables de las actividades elicitoras y fitoestimuladoras (Mondal *et al.*, 2015; Michalak *et al.*, 2016). Además de estos, también se utilizan otros géneros de macroalgas en la fabricación de bioestimulantes, como *Porphyra*, *Codium*, *Gracilaria* y *Chlorella* (Khan *et al.*, 2009).

Tabla 2. Contenido de nutrientes minerales (mg/100 g ps) de macroalgas usadas para formular bioestimulantes. Na: sodio, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, P: fósforo, S: azufre, Fe: hierro, Zn: zinc, Mn: manganeso, -: no registrado.

Macroalga / Macroalgae	Na	K	Ca	Mg	P	S	Fe	Zn	Mn	Referencias / References
<i>Kappaphycus alvarezii</i>	2.23-7.91	4.10	0.84-263	0.74	0.12	11.24	11.34 – 65.94	0.29 -1.85	1.10	Suresh Kumar <i>et al.</i> (2015); Alcantara and Lazaro-Llanos, (2020)
<i>Hypnea spinella</i>	-	-	-	-	-	-	40.96	0.74	-	Rodriguez Tenorio <i>et al.</i> (2013)
<i>Acanthophora spicifera</i>	4980	1662	1495 -5820	1170	96	7920	67	9.60	6.82	Ganesan <i>et al.</i> (1991); Lawanyawut <i>et al.</i> (2002); Reka <i>et al.</i> (2017)

Effect of applying macroalgae-based biostimulants in different crops

According to the Foreign Trade Bulletin (2023), Ecuador’s fruit exports have increased in recent years. In 2022, the value of Ecuador’s fruit exports was \$1.2 billion. This growth is due to several factors, including the increasing demand for Ecuadorian fruits in international markets, improvements in the quality of Ecuadorian fruits, and the expansion of fruit production in Ecuador.

The use of macroalgae in sustainable agriculture is a practice that is gaining popularity in Ecuador. The Ecuadorian government is supporting the advancement of this practice, as it offers an opportunity to enhance the sustainability of agriculture in the country. Therefore, it is important to consider the suitability and nutritional richness of the waste from red macroalgae for use in sustainable agriculture in Ecuador.

Kappaphycus, *Laminaria*, *Ascophyllum*, *Enteromorpha*, *Sargassum*, and *Ulva* are the macroalgae genera most commonly used worldwide for the manufacture of plant biostimulants in the form of liquid concentrate and soluble powder (Cai *et al.*, 2021; Pandya and Mehta, 2023). Their organic matrix is generally complex, composed of trace elements, minerals (Table 2), amino acids, lipids, carbohydrates, and promoting hormones (auxins, cytokinins, gibberellins, and betaines), which are responsible for elicitor and phyto-stimulatory activities (Mondal *et al.*, 2015; Michalak *et al.*, 2016). Other macroalgae genera are also used in the manufacture of biostimulants, such as *Porphyra*, *Codium*, *Gracilaria*, and *Chlorella* (Khan *et al.*, 2009).

Table 2. Mineral nutrient content (mg/100 g Dw) of macroalgae used to formulate biostimulants. Na: sodium, K: potassium, Ca: calcium, Mg: magnesium, P: phosphorus, S: sulfur, Fe: iron, Zn: zinc, Mn: manganese, -: not reported.

Macroalga / Macroalgae	Na	K	Ca	Mg	P	S	Fe	Zn	Mn	Referencias / References
<i>Ulva lactuca</i>	690–700	100–2800	790–1600	2660–2700	140–220	2540	66–180–213	19.10	2.60	Rodríguez Tenorio <i>et al.</i> (2013); Leandro <i>et al.</i> (2020)
<i>Sargassum sp.</i>	-	-	1860	687	-	-	88.60	1.35	-	Leandro <i>et al.</i> (2020)
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	-	99.65	1515–1561	-	227	-	27.82–57	0.97	8.45	Lawanyawut <i>et al.</i> (2002)
<i>Codium fragile</i>	8950	457	807	1252	-	-	26.59	0.43	8.53	Seo <i>et al.</i> (2019)
<i>Gracilaria spp.</i>	-	-	912	-	390	-	138	4.38	12.65	Ganesan <i>et al.</i> (1991), Lawanyawut <i>et al.</i> (2002)

Los extractos con base en algas se han probado en diferentes cultivos comunes en la agricultura ecuatoriana demostrando su potencial desde pequeñas dosis. Por su contenido de nutrientes, los extractos basados en algas han demostrado que las plantas tienen un mejor cuajado de las flores, rendimiento de la biomasa, germinación de las semillas y la producción de frutos, así como la vida útil posterior a la cosecha de diversos cultivos que adquieren una mayor resistencia a diferentes fitopatógenos (Mantri *et al.*, 2017). Roy *et al.* (2022) investigaron el impacto de la aplicación foliar de la savia de *K. alvarezii* en el arroz previamente infectado de la enfermedad del tizón bacteriano. En su estudio mostraron que los cultivos tratados con los extractos tenían niveles más bajos de severidad de la enfermedad y producían mayores rendimientos como resultados del aumento de las defensas antibacterianas de la planta. En otro experimento dedicado a evaluar el efecto de cuatro bioformulaciones de *K. alvarezii* en el cultivo de banano durante la etapa vegetativa y de floración, los autores observaron que la aplicación foliar a una dosis de 1 mL/L mejoró significativamente en el peso del racimo en 25.24 % sobre el control de agua (Ravi *et al.*, 2018). De igual manera, otros autores han utilizado la savia *K. alvarezii* como biofertilizante de algas marinas para promover el crecimiento, rendimiento y la mejora de la papa y el tomate (Pramanick *et al.*, 2017). Se ha registrado que la influencia de dos especies de algas marinas rojas *K. alvarezii* con *S. wightii* y *A. spicifera* con *S. vulgare* contribuyen a la mitigación de la enfermedad de mancha bacteriana y tizón temprano, al mismo tiempo que mejora las características de crecimiento del cultivo, como la altura, el número de hojas, el contenido de clorofila y el rendimiento cuando se aplicó en forma de pulverización foliar en tomate (Ali *et al.*, 2022; Vaghela *et al.*, 2023). La aspersión de savia de *Gracilaria*

Algae-based extracts have been tested on different crops common in Ecuadorian agriculture, demonstrating their potential even with small doses. Due to their nutrient content, algae-based extracts have shown plants to provide improved flower setting, biomass yield, seed germination, and fruit production, as well as enhanced post-harvest shelf life in various crops, which acquire greater resistance to different phytopathogens (Mantri *et al.*, 2017). Roy *et al.* (2022) studied the impact of the foliar application of *K. alvarezii* sap on rice previously infected with the bacterial blight disease. In their study, they showed that crops treated with extracts had lower levels of disease severity and produced higher yields as a result of increased plant antibacterial defenses. In another experiment aimed at evaluating the effect of four bioformulations of *K. alvarezii* on banana crops during the vegetative and flowering stages, it was observed that foliar application at a dose of 1 mL/L significantly improved cluster weight by 25.24 % with respect to the water control (Ravi *et al.*, 2018). Similarly, other researchers have used *K. alvarezii* sap as a seaweed biofertilizer to promote the growth, yield, and improvement of potatoes and tomatoes (Pramanick *et al.*, 2017). It has been recorded that the influence of two red seaweed species, *K. alvarezii* with *S. wightii* and *A. spicifera* with *S. vulgare*, contributes to mitigating bacterial spot and early blight disease while improving crop growth characteristics, such as height, the number of leaves, chlorophyll content, and yield, when applied as foliar spray on tomatoes (Ali *et al.*, 2022; Vaghela *et al.*, 2023). Spraying *Gracilaria spp.* with a 15 % dose of fertilizers on rice reported increased growth and improved grain and straw yields (Layek *et al.*, 2018).

spp. con una dosis de 15 % de fertilizantes en arroz, registró un aumento en el crecimiento y mejoró el rendimiento del grano y de la paja (Layek *et al.*, 2018).

Los beneficios asociados al uso de extractos de diferentes algas en los cultivos respaldan la afirmación de diversos autores (Hassan *et al.*, 2021) que posicionan a los bioestimulantes de extracto de algas como uno de los mejores promotores biológicos sostenibles del crecimiento vegetal (Tabla 3). Esta aseveración se ve reforzada por la presencia en el mercado de más de 15 productos comerciales con resultados avalados por estudios científicos rigurosos (Illera-Vives *et al.*, 2020).

The benefits associated with the use of extracts from different algae in crops support various authors' claims (Hassan *et al.*, 2021) that position algae extract biostimulants as one of the best sustainable promoters of biological growth (Table 3). This assertion is reinforced by the market presence of over 15 commercial products whose results are backed by rigorous scientific studies (Illera-Vives *et al.*, 2020).

Tabla 3. Aplicación de extractos de macroalgas en cultivos de consumo masivo a nivel mundial con sus principales beneficios. K₂O: óxido de potasio, N₂: nitrógeno molecular, N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio, Mg: magnesio, Ca: calcio, Mn: manganeso, Fe: hierro, Ca⁺: ion calcio, K⁺: ion potasio.

Table 3. Application of macroalgae extracts in mass-consumption crops worldwide, with their main benefits. K₂O: potassium oxide, N₂: molecular nitrogen, N: nitrogen, P: phosphorus, K: potassium, Mg: magnesium, Ca: calcium, Mn: manganese, Fe: iron, Ca⁺: calcium ion, K⁺: potassium ion.

Cultivo / Crop	Macroalga / Macroalgae	Presentación / Presentation	Principales beneficios / Main benefits	Referencia / Reference
Tomate / Tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>)	<i>K. alvarezii</i>	Extracto de alga al 5 % / Algal extract at 5 %	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento del rendimiento fresco, biomasa seca y área foliar, número de frutos por planta y el tamaño de los frutos. • Mayor contenido de minerales. • Mayor resistencia al enrollamiento de la hoja, marchitez bacteriana y barrenador del fruto. • Aumento de raíces y brotes. 	Zodape <i>et al.</i> (2011)
	<i>Sargassum</i> sp.	Extracto de alga (2.5 mg/L) / Algal extract (2.5 mg/L)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento del vigor de las plántulas. • Efecto positivo sobre la raíz y los microbios del suelo. • Aumento del contenido de clorofila. / • Increased fresh yield, dry biomass, leaf area, number of fruits per plant, and fruit size. • Higher mineral content. 	Fatimah <i>et al.</i> (2018)
	<i>Ulva ohnoi</i>	Fertilizante en polvo de biomasa del alga / Algae biomass powder fertilizer	<ul style="list-style-type: none"> • Greater resistance to leaf curl, bacterial wilt, and fruit borer. • Increase in roots and shoots. • Increased seedling vigor. • Positive effect on the root and soil microbes. • Increased chlorophyll content. 	Espinosa-Antón <i>et al.</i> (2023)
Trigo / Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	<i>K. alvarezii</i> combinado con <i>Gracilaria</i> / <i>K. alvarezii</i> combined with <i>Gracilaria</i>	Extracto concentrado (savia, 7.5 % y 5 % de cada macroalga, respectivamente) / Concentrated extract (sap, 7.5 %, and 5 % of each macroalga)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en el rendimiento de número, peso y longitud de espigas. • Mayor contenido de nutrientes en los granos. / • Increased yield regarding spike number, weight, and length. • Higher nutrient content in grains. 	Shah <i>et al.</i> (2013)

Cultivo / Crop	Macroalga / Macroalgae	Presentación / Presentation	Principales beneficios / Main benefits	Referencia / Reference
Maíz / Corn (<i>Zea mays</i> L.)	<i>Ascophyllum nodosum</i> , <i>Laminaria</i> spp	Extractos líquidos comerciales / Commercial liquid extracts	<ul style="list-style-type: none"> • Mejor absorción de agua y nutrientes. • Mayor porcentaje y tasa de germinación. • Aumento del vigor de las plantas. / • Better absorption of water and nutrients. • Higher germination percentage and rate. • Increased plant vigor. 	Ertani <i>et al.</i> (2018)
Café / Coffee (<i>Coffea arabica</i> L.)	<i>A. nodosum</i>	Extracto líquido comercial (dosis recomendada de 1000 mL/ha para aplicación foliar) / Commercial liquid extract (recommended dose of 1000 mL/ha for foliar application)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de longitud de brotes, altura, masa fresca total, masa seca total e índice de área foliar. • Mayor rendimiento. / • Increased shoot length, height, total fresh mass, total dry mass, and leaf area index. • Increased yield. 	Pedro <i>et al.</i> , (2022)
Caña de azúcar / Sugarcane (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	<i>K. alvarezii</i> , <i>A. nodosum</i>	Extracto de <i>K. alvarezii</i> (1 %) y extracto de <i>A. nodoso</i> (dosis recomendada de 1 ml/L para aplicación foliar) / <i>K. alvarezii</i> (1 %) extract and <i>A. nodoso</i> extract (recommended dose of 1 ml/L for foliar application)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la biomasa en las plantas. • Mayor rendimiento. • Mayor producción total de materia seca. • Incremento de la intensidad de clorofila en la hoja. • Reducción de la severidad de la enfermedad fúngica causada por <i>Colletotrichum falcatum</i>. • Mayor contenido de sacarosa. • Tolerancia al estrés por sequía. / • Increased plant biomass. • Higher yield. • Higher total dry matter production. • Increase in leaf chlorophyll intensity. • Reduction in the severity of the fungal disease caused by <i>Colletotrichum falcatum</i>. • Higher sucrose content. • Tolerance to drought stress. 	Karthikeyan and Shanmugam (2017) Raju <i>et al.</i> (2017)
Mango (<i>Mangifera indica</i> L.)	<i>A. nodosum</i>	Extracto líquido (5000 ppm) / Liquid extract (5000 ppm)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento del rendimiento y mejora de calidad de frutos. • Menor riesgo de caída de frutos. • Mayor contenido de clorofila. / • Increased yield and improved fruit quality. • Lower risk of fruit drop. • Higher chlorophyll content. 	Dash <i>et al.</i> (2021)
Manzana / Apple (<i>Malus robusta</i>)	<i>Fucus spiralis</i> , <i>Bifurcaria bifurcata</i> , <i>Codium tomentosum</i> , <i>Codium vermilara</i>	Extracto líquido (0.5 % para aplicación foliar) / Liquid extract (0.5 % for foliar application)	<ul style="list-style-type: none"> • Minimización del oscurecimiento del fruto. / • Minimized fruit darkening. 	Augusto <i>et al.</i> (2016)

Cultivo / Crop	Macroalga / Macroalgae	Presentación / Presentation	Principales beneficios / Main benefits	Referencia / Reference
Banana (<i>Musa sp.</i>)	<i>A. nodosum</i>	Extracto líquido (85 %), aminoácidos (6 %), K ₂ O (5 %) y N ₂ (2 %) / Liquid extract (85 %), aminoacids (6 %), K ₂ O (5 %), and N ₂ (2 %)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento del peso del racimo. • Mejor rendimiento. / • Increased bunch weight. • Improved yield. 	Tabet <i>et al.</i> (2021)
Papa / Potato (<i>Solanum tuberosum L.</i>)	<i>Ulva lactuca</i> , <i>Janiarubens</i> , <i>Pterocladia capillacea</i>	Extracto líquido comercial patentado (TAM®) / Patented commercial liquid extract (TAM®)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento del rendimiento de producción, calidad, y características bioquímicas y fisiológicas del producto. • Mayor contenido de potasio en tubérculos. / 	Ammar <i>et al.</i> (2022)
	<i>Ecklonia maxima</i>	Bioestimulante comercial (Kelpak SL) / Commercial biostimulant (Kelpak SL)	<ul style="list-style-type: none"> • Increased yield regarding the production, quality, and biochemical and physiological characteristics of the product. • Higher potassium content in tubers. 	Dziugiel and Wadas (2020)
Naranja / Oranges (<i>Citrus spp.</i>)	<i>A. nodosum</i>	Extracto de alga para aplicación suplementaria exógena (0.5 ml/L + aminoácido + 0.01 % Tween 20) / Algal extract for supplementary exogenous (0.5 ml/L + amino acid + 0.01 % Tween 20)	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoras en el crecimiento, pigmentos y nutrientes de las hojas, el rendimiento y los atributos físicos y químicos de la fruta. • Mejora de los macro y micronutrientes foliares. • Aumento de la altura de las plántulas, diámetro del tallo principal, número de hojas, área foliar y contenido foliar de nitrógeno, clorofila y carbohidratos solubles totales. / 	Khan <i>et al.</i> (2022)
	<i>E. máxima</i>	Extracto de alga (Kelpak40, bioestimulante comercial) / Algal extract (Kelpak40, commercial biostimulant)	<ul style="list-style-type: none"> • Improvements in leaf growth, pigments, and nutrients, as well as in fruit physical and chemical attributes. • Improvements in the foliar macro- and micronutrients • Increased seedling height, main stem diameter, leaf number, leaf area, and foliar nitrogen, chlorophyll, and total carbohydrate content. 	Hamzah <i>et al.</i> (2023)
Soja / Soy (<i>Glycine max</i>)	<i>Padina minor</i> , <i>Sargassum crassifolium</i> , <i>Sargassum cristaefolium</i> , <i>Turbinaria decurrens</i>	Extractos líquidos con concentración de alga variable (0.1 %, 0.2 %, 0.3 % y 0.4 %) / Liquid extracts with variable algal concentration (0.1 %, 0.2 %, 0.3 %, and 0.4 %)	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora de los parámetros del crecimiento vegetativo. / • Improved vegetative growth parameters. 	Noli <i>et al.</i> (2021)
Frutilla / Strawberry (<i>Fragaria ananassa</i>)	<i>Sargassum spp.</i>	Extracto de alga comercial (Alga600, 4 dosis recomendadas de 0, 2, 4 and 8 g/L) / Commercial algal extract (Alga600, 4 recommended doses of 0, 2, 4, and 8 g/L)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de concentraciones de N, P, K, Mg, Ca, Mn y Fe. / • Increased concentrations of N, P, K, Mg, Ca, Mn, and Fe. 	Al-Shatri <i>et al.</i> (2020)

Cultivo / Crop	Macroalga / Macroalgae	Presentación / Presentation	Principales beneficios / Main benefits	Referencia / Reference
Frutilla / Strawberry (<i>Fragaria ananassa</i>)	<i>K. alvarezii</i>	Extracto de alga (dosis recomendada de 0.75, y 1.25 mL/L durante la prefloración y cuajado) / Algal extract (recommended dose of 0.75 and 1.25 mL/L during pre-flowering and fruit set)	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor extensión de la planta, mayor porcentaje de área foliar de cuajado de frutos, número de coronas, longitud y ancho del fruto, y contenido de antocianinas. / • Greater plant extension, higher percentage of fruit set leaf area, number of crowns, fruit length and width, and anthocyanin content. 	Rana <i>et al.</i> (2023)
Pepino / Cucumber (<i>Cucumis sativa</i>)	<i>K. alvarezii</i>	Extracto de alga (Agrogain®, bioestimulante comercial) / Algal extract (Agrogain®, commercial biostimulant)	<ul style="list-style-type: none"> • Expansión de los cotiledones del pepino. • Mayor actividad de amilasa. • Aumento del área foliar total. • Modulación de las vías relacionadas con el transporte de electrones y protones que ayudan a las plantas a utilizar eficientemente la radiación fotosintética para un crecimiento óptimo. / • Expansion of cucumber cotyledons. • Greater amylase activity. • Increased total leaf area. • Modulation of pathways related to the transport of electrons and protons, which help plants to efficiently utilize photosynthetic radiation for optimal growth. 	Shukla <i>et al.</i> (2023)
	<i>Ulva lactuca</i> , <i>Jania rubens</i> , <i>Pterocladia capillacea</i>	Bioestimulante de algas comercial (TAM®) / Commercial algal biostimulant (TAM®)	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora de las características químicas y físicas relacionadas con la inmunidad, la productividad y la defensa contra el estrés. • Improvements in the physical and chemical characteristics related to immunity, productivity, and defense against stress. 	Hassan <i>et al.</i> (2021)
Alcachofa / Artichoke (<i>Cynara scolymus</i> L.)	<i>U. lactuca</i> , <i>U. faciata</i> , <i>Pterocladia caplicia</i>	Extracto de algas y fertilizantes de fósforo y potasio (10 mL L ⁻¹) / Algal extract and phosphorus and potassium fertilizers (10 mL L ⁻¹)	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora del rendimiento total en (~40 %) y del rendimiento temprano. / • Improved total yield (~40 %) and early yield. 	Elsharkawy <i>et al.</i> (2021)
Arroz / Rice (<i>Oryza sativa</i> L.)	<i>Kappaphycus</i> sp. y <i>Eucheuma</i> sp.	Extracto de algas para aplicación foliar / Algal extract for foliar application	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de la apertura de los estomas y temperatura de las hojas bajo condiciones de estrés. • Reducción de especies reactivas de oxígeno, (e.g., peróxido de hidrógeno y radicales superóxidos), en plantas estresadas. • Aumento de los niveles de Ca⁺ y K⁺. / • Maintenance of stomatal opening and leaf temperature under stress conditions. • Reduction of reactive oxygen species (e.g., hydrogen peroxide and superoxide radicals) in stressed plants. • Increased Ca⁺ and K⁺ levels. 	Banakar <i>et al.</i> (2022)

Cultivo / Crop	Macroalga / Macroalgae	Presentación / Presentation	Principales beneficios / Main benefits	Referencia / Reference
Pimiento picante / Hot pepper (<i>Capsicum annuum</i>)	<i>U. lactuca, J. rubens y Pcapillacea</i>	Extracto líquido de alga comercial (TAM ®, 0.25, 0.5 y 1 %) / Commercial liquid algal extract (TAM ®, 0.25, 0.5, and 1 %)	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora del rendimiento y la composición de nutrientes totales. • Aumento clorofila, compuestos ascórbicos y fenólicos, flavonoides y nutrientes totales. • Mejora de la actividad antioxidante total. / • Improved yield and total nutrient composition. • Increase in chlorophyll, ascorbic and phenolic compounds, flavonoids, and total nutrients. • Improved total antioxidant activity. 	Ashour <i>et al.</i> (2021)
Espinaca / Spinach (<i>Spinacia oleracea</i> L.)	<i>Ecklonia máxima y Ascophyllum nodosum</i>	Bioestimulante comercial Kelpak ®, 3 mL/L y Amalgerol ®, 3 mL/L / Commercial biostimulant (Kelpak ®), 3 mL/L, and Amalgerol ®, 3 mL/L	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor biosíntesis de clorofila y mejor estado mineral de las plantas, • Mayor rendimiento de los cultivos. / • Greater biosynthesis of chlorophyll and better plant mineral status. • Higher crop yield. 	Rouphael <i>et al.</i> (2018)

Mecanismo de acción de los bioestimulantes con base en extractos de algas

Roy *et al.* (2022) evaluaron dos formulaciones de *K. alvarezii* comercial y demostraron que su aplicación foliar, antes o después de la infección, induce una respuesta defensiva antibacteriana en las plantas superior a la de las plantas sin tratamiento. Las plantas tratadas acumularon mayores niveles de ácido salicílico, una hormona defensiva clave, y exhibieron una mayor expresión de genes inmunes asociados. Además, los tratamientos con el extracto aumentaron los niveles endógenos de ácido jasmónico y citoquinina, acompañados de una mayor expresión de sus genes sensibles respectivos. Estos resultados sugieren que el extracto de *K. alvarezii* tiene un potencial significativo para mejorar las defensas de las plantas contra patógenos bacterianos.

Por otro lado, Patel *et al.* (2018) evaluaron el impacto de la savia de *K. alvarezii* en tres variedades de trigo duro de importancia comercial frente al estrés salino y por sequía durante las fases vegetativa y reproductiva. En condiciones de estrés salino, las plantas tratadas con la savia exhibieron una menor relación Na^+/K^+ y un mayor contenido de Ca^{2+} . Además, la savia mitigó el daño a la membrana celular al mantener un mayor contenido de agua en el tejido, reducir la fuga de electrolitos y el contenido de malondialdehído. Las especies reactivas de oxígeno, el superóxido y el peróxido también se redujeron significativamente en el tratamiento a base de *K. alvarezii*. Los osmoprotectores como proteínas totales, prolina, aminoácidos y azúcares solubles aumentaron

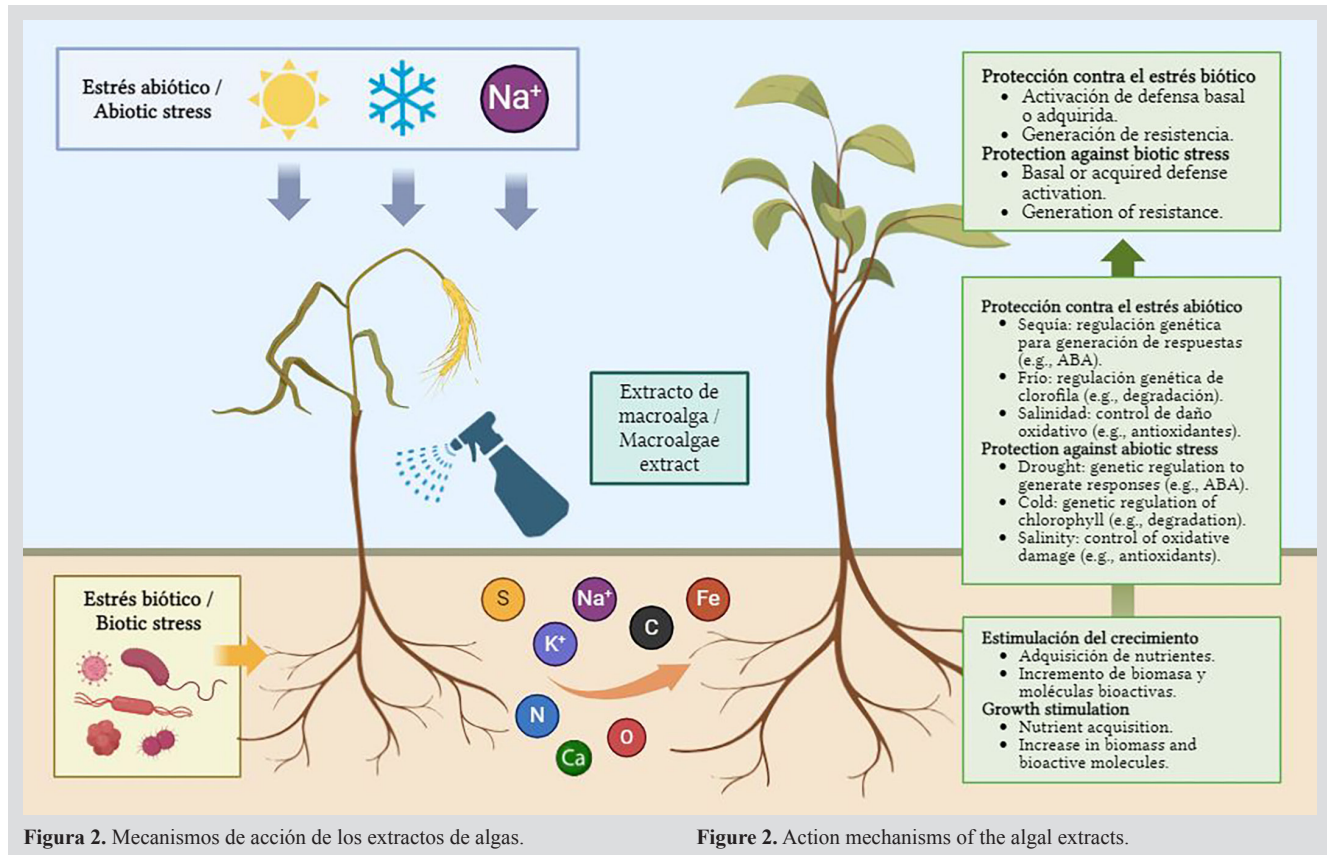
Action mechanism algae extract-based biostimulants

Roy *et al.* (2022) evaluated two commercial formulations of *K. alvarezii* and demonstrated that their foliar application, before or after infection, induces a superior antibacterial defensive response in comparison with untreated plants. The treated plants accumulated higher levels of salicylic acid, a key defensive hormone, and exhibited a greater expression of associated immune genes. In addition, the treatments with the extract increased the endogenous levels of jasmonic acid and cytokinin, accompanied by a greater expression of their corresponding sensitive genes. These results suggest that *K. alvarezii* extract has a significant potential to enhance plant defenses against bacterial pathogens.

On the other hand, Patel *et al.* (2018) evaluated the impact of *K. alvarezii* sap on three commercially important varieties of durum wheat under saline and drought stress during vegetative and reproductive phases. Under saline stress conditions, the plants treated with the sap showed a lower Na^+/K^+ ratio and a higher Ca^{2+} content. Moreover, the sap mitigated cell membrane damage by maintaining a higher water content in the tissue and reducing electrolyte leakage and malondialdehyde content. Reactive oxygen species, superoxide, and peroxide levels were also significantly reduced in the treatment based on *K. alvarezii*. Osmoprotectants such as total proteins, proline, amino acids, and soluble sugars increased with the application of *K. alvarezii* sap both under and in the absence of stress

con la aplicación de la savia *K. alvarezii* tanto en condiciones de estrés como sin él. Las fitohormonas (ácido abscísico, citoquinina y auxina) se regularon de forma significativa con la aplicación de la savia y también mejoró significativamente el rendimiento al aumentar el número de espigas y granos (Figura 2).

conditions. Phytohormones (abscisic acid, cytokinin, and auxin) were significantly regulated with the application of the sap, and they significantly improved the yield by increasing the number of spikes and grains (Figure 2).



Según Samuels *et al.* (2022), los extractos de algas marinas ejercen sus efectos beneficiosos en las plantas a través de tres mecanismos principales: mejor adquisición de nutrientes, inhibición de la degradación de la clorofila y el desencadenamiento de la respuesta de defensa. La aplicación de extractos de algas estimula la producción de auxinas, giberelinas y citoquininas, mejorando la absorción de nutrientes esenciales como N, P, K, Fe y Zn. Los extractos de algas, ricos en betaínas y glicina betaína, protegen las células vegetales del estrés abiótico preservando la clorofila, proteínas complejas, enzimas antioxidantes y el fotosistema II. Los polisacáridos de las paredes celulares de las algas (ulvanos, laminarinas, carragenanos) actúan como desencadenantes de la respuesta de defensa de las plantas. Se inducen mecanismos de resistencia contra patógenos mediante la acumulación de proteínas relacionadas con la patogénesis, enzimas como

According to Samuels *et al.* (2022), seaweed extracts exert their beneficial effects on plants through three main mechanisms: a better nutrient acquisition, the inhibition of chlorophyll degradation, and the triggering of defense responses. The application of seaweed extracts stimulates the production of auxins, gibberellins, and cytokinins, improving the uptake of essential nutrients such as N, P, K, Fe, and Zn. Seaweed extracts, rich in betaines and glycine betaine, protect plant cells from abiotic stress by preserving chlorophyll, complex proteins, antioxidant enzymes, and the photosystem II. The polysaccharides from algal cell walls (ulvans, laminarins, carrageenans) act as triggers for plant defense responses. Resistance mechanisms against pathogens are induced by the accumulation of pathogenesis-related proteins, enzymes such as chitinases and glucanases, and phenolic molecules. Other authors suggest that seaweed

quitinasas y glucanasas, y moléculas fenólicas. Otros autores sugieren que extractos de algas con elevado contenido en ácido indol-3-acético como *Ascophyllum nodosum* y *Laminaria* spp. son eficaz para promover los rasgos morfológicos de las raíces en maíz (Rouphael y Colla, 2020).

Formulaciones de extracto de algas marinas: tendencias y técnicas emergentes

Al presente, la mayoría de productos comerciales de extracto de algas están elaborados a partir de algas pardas como *Ascophyllum nodosum*, *Fucus*, *Laminaria*, *Sargassum* y *Turbinaria* spp. (Mukherjee y Patel, 2020). Sin embargo, los extractos de algas rojas de *K. alvarezii*, *A. spicifera* e *H. spinella* prometen reemplazar a una variedad de moléculas agroquímicas sintéticas (Figura 3), ya que contienen una diversidad de macronutrientes, micronutrientes y aminoácidos poco aprovechados en esta área (Murillo Carvajal y Romo González, 2021). Estos nutrientes pueden ayudar a las plantas a crecer y desarrollarse de manera saludable, lo que puede reducir la necesidad de fertilizantes químicos. Estos extractos son una fuente natural de fósforo y potasio, entre otros nutrientes, que son esenciales para el crecimiento de las plantas (Tabla 2). Estos extractos algales pueden ayudar a las plantas a absorber el nitrógeno y fósforo del suelo y trasladarlo de la raíz al brote de manera más eficiente, lo que puede reducir la necesidad de fertilizantes nitrogenados y fosfatados sintéticos (Pérez-Madruga *et al.*, 2020). También podrían contribuir en una reducción de contaminación del agua por nitratos.

Los extractos de algas contienen fitohormonas que ayudan a las plantas a florecer y fructificar de manera más eficiente al actuar como reguladores hormonales de crecimiento lo que puede aumentar los rendimientos de cosechas (Murillo Carvajal y Romo González, 2021). Formulaciones con estas fitohormonas pueden reducir la contaminación del medio ambiente por reguladores del crecimiento hormonales sintéticos. De forma paralela, las fitohormonas pueden ayudar a las plantas a defenderse de plagas y enfermedades, actuando como metabolitos secundarios (Udayan *et al.*, 2018). Estas fitohormonas pueden actuar como insecticidas, fungicidas y nematocidas naturales. Debido a la defensa que otorgan pueden ayudar a reducir la necesidad de plaguicidas organoclorados y organofosforados sintéticos. Esto puede ayudar a proteger a las aves y los otros animales silvestres de la exposición a estos pesticidas tóxicos.

extracts with a high content of indole-3-acetic acid, like *Ascophyllum nodosum* and *Laminaria* spp. are effective in promoting root morphological traits in maize (Rouphael and Colla, 2020).

Seaweed extract formulations: emerging trends and techniques

At present, most commercial seaweed extract products are elaborated from brown algae such as *Ascophyllum nodosum*, *Fucus*, *Laminaria*, *Sargassum*, and *Turbinaria* spp. (Mukherjee and Patel, 2020). However, red algae extracts from *K. alvarezii*, *A. spicifera*, and *H. spinella* show promise in replacing a variety of synthetic agrochemical molecules (Figure 3), as they contain a diversity of macronutrients, micronutrients, and amino acids that are underutilized in this field (Murillo Carvajal and Romo González, 2021). These nutrients can help plants to grow and develop healthily, which may reduce the need for chemical fertilizers. These extracts are a natural source of phosphorus and potassium, among other nutrients essential for plant growth (Table 2). These algal extracts can help plants to absorb nitrogen and phosphorus from the soil and translocate it from the root to the shoot in a more efficient manner, which can reduce the need for synthetic nitrogenous and phosphate fertilizers (Pérez-Madruga *et al.*, 2020). They could also contribute to reducing water pollution by nitrates.

Algal extracts contain phytohormones that help plants bloom and bear fruit more efficiently by acting as hormonal growth regulators, which can increase crop yields (Murillo Carvajal and Romo González, 2021). Formulations with these phytohormones can reduce environmental pollution by synthetic hormonal growth regulators. Concurrently, phytohormones can help plants to defend against pests and diseases by acting as secondary metabolites (Udayan *et al.*, 2018). These phytohormones can act as natural insecticides, fungicides, and nematocides. Due to the defenses they provide, they can help to reduce the need for synthetic organochlorine and organophosphate pesticides. This can aid in protecting birds and other wildlife from exposure to these toxic pesticides.



Figura 3. Macroalgas del Ecuador con potencial uso en la agricultura.

Figure 3. Ecuadorian macroalgae with agricultural potential.

También, estos extractos bioactivos acondicionan el suelo con materia orgánica mejorando su estructura, contenido de oligoelementos, minerales, reguladores de crecimiento, vitaminas y otros metabolitos; en menor grado podrían mejorar la hidratación del suelo, favoreciendo el desarrollo de microorganismos benéficos (Flórez-Jalixto *et al.*, 2021).

Furthermore, these bioactive extracts condition the soil with organic matter, improving its structure, trace element content, minerals, growth regulators, vitamins, and other metabolites. To a lesser extent, they could enhance soil hydration, favoring the development of beneficial microorganisms (Flórez-Jalixto *et al.*, 2021). Their phenolic

Sus compuestos fenólicos tienen el potencial de favorecer el crecimiento de los cultivos, desarrollar mecanismos de defensa y contrarrestan el estrés oxidativo (Roy *et al.*, 2022). En consecuencia, son candidatos para reemplazar a una variedad de moléculas sintéticas para resolver problemas de compactación, retención de agua o salinidad.

Métodos de extracción

Por otro lado, existen diversos métodos de extracción de los principios activos de las algas, lo cuales se basan en llegar a la ruptura celular para liberar los componentes de interés. Los nuevos métodos de extracción incluyen las hidrólisis ácida y alcalina, rotura celular bajo presión, fermentación y extracción asistida por enzimas (Flórez-Jalixto *et al.*, 2021). Recientes tecnologías en equipos de extracción de biomoléculas reducen los tiempos gracias a alternancias entre presión, temperaturas y solventes. Se han desarrollado métodos verdes de extracción alternativos como con líquido presurizado, con agua subcrítica, con fluido supercrítico, la asistida por microondas y la extracción asistida por ultrasonido con diferentes solventes (acetona, etanol, metanol, 2-propanol y agua), incluyendo solventes alternos como líquidos iónicos (Rudke *et al.*, 2020). A medida que la investigación en este campo continúe, es probable que los extractos de algas se vuelvan aún más comunes en la agricultura y se actualicen los métodos tradicionales de extracción por tecnologías innovadoras.

Propuestas para Ecuador

Los extractos de algas son una alternativa natural y sostenible a los agroquímicos sintéticos. Son seguros y pueden ayudar a los agricultores a mejorar la productividad de sus cultivos a costos más accesibles (Sithamparanathan *et al.*, 2019). El uso de las algas marinas como bioestimulantes es un sector en crecimiento en varias partes del mundo, incluyendo Latinoamérica (González-Giro *et al.*, 2018). La mejora en el crecimiento y la productividad de varios cultivos en diferentes países después de la aplicación del extracto de algas marinas *K. alvarezii* y *A. spicifera* ha ido documentándose alentadoramente y su aplicabilidad en más cultivos de importancia económica sigue investigándose. Todavía existe escasez de datos y estudios que documenten de manera adecuada el potencial de aplicación de *H. spinella*.

Ecuador posee experiencia en el cultivo de macroalgas nativas y exóticas como *A. spicifera* y *K. alvarezii* (Jiménez y Torres, 2023). Esta práctica ofrece una alternativa prometedora para mejorar la inmunidad y resistencia al estrés de los cultivos de interés comercial nacional e internacional,

compounds have the potential to promote crop growth and develop defense mechanisms, and they counteract oxidative stress (Roy *et al.*, 2022). Consequently, they are candidates to replace a variety of synthetic molecules to address issues of compaction, water retention, or salinity.

Extraction methods

There are various methods for extracting the active principles of algae, which are based on achieving cell rupture to release the components of interest. New extraction methods include acid and alkaline hydrolysis, cell disruption under pressure, fermentation, and enzyme-assisted extraction (Flórez-Jalixto *et al.*, 2021). Recent technologies in biomolecule extraction equipment reduce times thanks to alternations between pressure, temperatures, and solvents. Green alternative extraction methods have been developed, such as those with pressurized liquid, subcritical water, and supercritical fluid, as well as microwave- and ultrasound-assisted extraction using different solvents (acetone, ethanol, methanol, 2-propanol, and water), including alternative solvents such as ionic liquids (Rudke *et al.*, 2020). As research in this field continues, it is likely that algae extracts will become even more common in agriculture, and that traditional extraction methods will be updated by innovative technologies.

Proposals for Ecuador

Algal extracts are a natural and sustainable alternative to synthetic agrochemicals. They are safe and can help farmers to improve the productivity of their crops at more accessible costs (Sithamparanathan *et al.*, 2019). The use of seaweed as biostimulants is a growing sector in various parts of the world, including Latin America (González-Giro *et al.*, 2018). Improvements in the growth and productivity of various crops in different countries, following the application of seaweed extracts from *K. alvarezii* and *A. spicifera*, have been encouragingly documented, and their applicability in more economically important crops continues to be researched. There is still a scarcity of data and studies that adequately document the application potential of *H. spinella*.

Ecuador has experience in cultivating native and exotic macroalgae such as *A. spicifera* and *K. alvarezii* (Jiménez and Torres, 2023). This practice offers a promising alternative to improve the immunity and stress resistance of crops of national and international commercial interest, in addition to reducing the use of synthetic chemical inputs. Developing this market in Ecuador would pave the way to

además de reducir el uso de insumos químicos sintéticos. El desarrollo de este mercado en Ecuador abriría las puertas a la creación de nuevas industrias que aprovechen los compuestos bioactivos de las macroalgas. Sin embargo, para avanzar en este campo, se requiere investigación más profunda que abarque procedimientos de extracción, análisis químicos totales, la influencia de su origen sobre sus componentes, el efecto de la estacionalidad, entre otros factores. La riqueza en minerales, vitaminas, sustancias bioactivas, proteínas y lípidos con propiedades antibacteriales, antivirales y antifúngicos proveen un optimista futuro de su uso como materia prima para la extracción de componentes bioactivos para bioformulaciones agrícolas.

En la actualidad, la implementación exitosa del cultivo comercial de *K. alvarezii* en Ecuador ha demostrado que las innovaciones científicas pueden beneficiar a las poblaciones rurales costeras que carecen de oportunidades económicas alternativas. El aprovechamiento biotecnológico de *A. spicifera* podría contribuir a mitigar su invasividad en las costas ecuatorianas. Por último, el análisis químico de *H. spinella* permitiría explorar su potencial de aprovechamiento sinérgico en combinación con las algas previamente mencionadas.

Por otro lado, el avance continuo tanto en los métodos agrícolas como en el desarrollo de productos integrados es crucial para atraer inversiones. La economía rural no solo se verá impulsada mediante el cultivo comercial de algas, sino también mediante el empleo de bioformulaciones líquidas y sólidas a partir de la biomasa de algas (Mantri *et al.*, 2017). Además, su aprovechamiento sería el comienzo del desarrollo de industrias paralelas que exploten sus demás subproductos.

Dada la información existente, Ecuador debe aprovechar la implementación de esta alternativa agroecológica en su proceso de transición a una agricultura verde, ya que los extractos de algas marinas contienen casi todos los nutrientes principales y secundarios de las plantas. Para ello serán necesarios esfuerzos gubernamentales para una planificación holística en la implementación de proyectos de cultivo de algas marinas que permitan llevar a cabo una actividad comercial con un alto grado de confianza y eficiencia, lo cual repercutirá en una mejoría de la economía local costera. La expansión geográfica de la agricultura comercial es inevitable en el futuro previsible, pero se espera que el gobierno de turno aumente la financiación de I + D e incentive la inversión externa o privada para la agricultura en aguas profundas y en alta mar junto a una continua evaluación ambiental y social.

the creation of new industries that leverage the bioactive compounds of macroalgae. However, to advance in this field, more in-depth research is required which covers extraction procedures, total chemical analysis, the influence of origin on components, and the effect of seasonality, among other factors. The richness in minerals, vitamins, bioactive substances, proteins, and lipids with antibacterial, antiviral, and antifungal properties provides an optimistic future for their use as raw materials for extracting bioactive components for agricultural bioformulations.

Currently, the successful implementation of the commercial cultivation of *K. alvarezii* in Ecuador has demonstrated that scientific innovations can benefit coastal rural populations lacking alternative economic opportunities. The biotechnological exploitation of *A. spicifera* could help mitigate its invasiveness on the Ecuadorian coasts. Finally, the chemical analysis of *H. spinella* would allow exploring its potential for synergistic utilization in combination with the aforementioned algae.

On the other hand, continuous advancement in both agricultural methods and the development of integrated products is crucial to attract investments. The rural economy will not only be bolstered by the commercial cultivation of algae, but also through the use of liquid and solid bioformulations derived from algae biomass (Mantri *et al.*, 2017). Furthermore, their utilization would mark the beginning of the development of parallel industries that exploit their other by-products.

Given the existing information, Ecuador should leverage the implementation of this agroecological alternative in its transition towards a green agriculture, as seaweed extracts contain nearly all primary and secondary nutrients for plants. This merits government efforts for holistic planning in the implementation of seaweed cultivation projects that enable commercial activity with a high degree of confidence and efficiency, which will lead to an improvement in the local coastal economy. The geographical expansion of commercial agriculture is inevitable in the foreseeable future, but the current government is expected to increase R + D funding and encourage external or private investment for agriculture in deep and offshore waters, along with continuous environmental and social assessment.



CONCLUSIONES

Las macroalgas rojas, particularmente *K. alvarezii*, *A. spicifera* e *H. spinella*, presentan un destacado potencial biotecnológico para su aplicación en la agricultura sostenible del Ecuador. Estos organismos marinos, ampliamente distribuidos en la región costera del país, albergan una diversidad de compuestos bioactivos como polisacáridos, aminoácidos, enzimas, polifenoles, pigmentos vegetales y hormonas, dotándolos de propiedades elicitoras y fitoestimuladoras. La inclusión de extractos de estas macroalgas en la producción agrícola ha evidenciado impactos positivos al mejorar la resistencia de las plantas a enfermedades, activar mecanismos de defensa, modular la microbiota del suelo y potenciar el rendimiento y la calidad de los cultivos. Además, el cultivo de macroalgas es una práctica sostenible que no requiere agua dulce ni compite por la tierra, y puede mitigar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) por aumento de biomasa (asimilación de carbono durante el crecimiento). Ecuador cuenta con condiciones climáticas y oceanográficas favorables para el desarrollo del cultivo de macroalgas, especialmente en la provincia de Santa Elena, lo que representa una oportunidad significativa para diversificar la acuicultura y promover la agricultura sostenible en el país.

Por ello, se recomienda promover la investigación y el desarrollo de tecnologías destinadas al cultivo y procesamiento de macroalgas rojas en Ecuador, con un enfoque en las especies *K. alvarezii*, *A. spicifera* e *H. spinella*. Estos esfuerzos investigativos deben abarcar la optimización de las condiciones de cultivo, la exhaustiva caracterización de los compuestos bioactivos presentes en estas macroalgas, y la evaluación rigurosa de su efectividad en diversos cultivos agrícolas. Asimismo, se insta a fomentar la colaboración interdisciplinaria entre instituciones académicas, centros de investigación y entidades del sector agrícola para facilitar la transferencia de conocimientos y tecnologías especializadas en este campo emergente. Es importante también desarrollar políticas y regulaciones que fomenten el uso de bioestimulantes a base de macroalgas como una alternativa sostenible a los agroquímicos sintéticos, en línea con las tendencias internacionales hacia una agricultura más ecológica. Por último, se aconseja educar a los agricultores acerca de los múltiples beneficios que ofrecen los bioestimulantes de macroalgas y promover activamente su integración en las prácticas agrícolas cotidianas; esto contribuirá significativamente a la sostenibilidad y competitividad del sector agrícola ecuatoriano en el contexto global.

CONCLUSIONS

Red macroalgae, particularly *K. alvarezii*, *A. spicifera*, and *H. spinella*, exhibit significant biotechnological potential for application in sustainable agriculture in Ecuador. These marine organisms, widely distributed along the country's coastal region, contain a diversity of bioactive compounds such as polysaccharides, amino acids, enzymes, polyphenols, plant pigments, and hormones, which provides them with elicitor and phyto-stimulator properties. The inclusion of extracts from these macroalgae in agricultural production has evidenced positive impacts, enhancing plant disease resistance, activating defense mechanisms, modulating soil microbiota, and bolstering crop yield and quality. Moreover, the cultivation of macroalgae is a sustainable practice that does not require fresh water or competition for land, and it can mitigate carbon dioxide (CO₂) emissions through increased biomass (carbon assimilation during growth). Ecuador has favorable climatic and oceanographic conditions for the development of macroalgae cultivation, especially in the province of Santa Elena, which represents a significant opportunity to diversify aquaculture and promote sustainable agriculture in the country.

Therefore, promoting research and development on technologies aimed at the cultivation and processing of red macroalgae in Ecuador is recommended, with a focus on the species *K. alvarezii*, *A. spicifera*, and *H. spinella*. These research efforts should cover the optimization of cultivation conditions, the thorough characterization of the bioactive compounds present in these macroalgae, and the rigorous evaluation of their effectiveness in various agricultural crops. Furthermore, academic institutions, research centers, and entities in the agricultural sector are called upon to collaborate in an interdisciplinary manner to facilitate the transfer of knowledge and technologies specialized in this emerging field. It is also important to develop policies and regulations that encourage the use of macroalgae-based biostimulants as a sustainable alternative to synthetic agrochemicals, in line with international trends towards a more ecological agriculture. Finally, it is advisable to educate farmers about the multiple benefits offered by macroalgae biostimulants and actively promote their integration into everyday agricultural practices. This will significantly contribute to the sustainability and competitiveness of the Ecuadorian agricultural sector on the global stage.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a cada una de las instituciones representadas por los autores, sin cuyo apoyo, compromiso y motivación por la divulgación científica este trabajo no hubiese sido posible.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank each of the institutions represented by the authors; without their support, commitment, and motivation for scientific dissemination, this work would not have been possible.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Agarwal, P., M. Dangariya and P. Agarwal. 2021. Seaweed extracts: Potential biodegradable, environmentally friendly resources for regulating plant defense. *Algal Res.*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102363>
- Alcántara, J.D. and N. Lázaro-Llanos. 2020. Mineral availability, dietary fiber contents, and short-chain fatty acid fermentation products of *Caulerpa lentillifera* and *Kappaphycus alvarezii* seaweeds. *Komun. Kimika*, 31(1), 1–10. <https://doi.org/10.26534/kimika.v31i1.1-10>
- Ali, O., A. Ramsubhag and J. Jayaraman. 2021. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants*, 10(3): 1–27. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>
- Ali, O., A. Ramsubhag and J. Jayaraman. 2022. Transcriptome-wide modulation by *Sargassum vulgare* and *Acanthophora spicifera* extracts results in a prime-triggered plant signalling cascade in tomato and sweet pepper. *AoB Plants*, 14(6): 1–18. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plac046>
- Al-Shatri, A.H., N.M. Pakyürek and A. Yaviç. 2020. Effect of seaweed application on nutrient uptake of strawberry cv. Albion grown under the environmental conditions of northern Iraq. *Appl. Ecol. Environ. Res.*, 18(1), 1267–1279. https://doi.org/10.15666/aeer/1801_12671279
- Aminah, A. and G. K. Xiren. 2017. Proximate composition and total amino acid composition of *Kappaphycus alvarezii* found in the waters of Langkawi and Sabah, Malaysia. *Int. Food Res. J.*, 24(3): 1255–1260.
- Ammar, G., M. Ashour and S. M. Hassan. 2022. Enhancing potato production by applying commercial seaweed extract (TAM®) biostimulant under field conditions. *JAAR*, 27(3), 492-504. <https://doi.org/10.21608/jalexu.2022.155031.1077>
- Ashour, M., S. M. Hassan, M. E. Elshobary, G. A. G. Ammar, A. Gaber, W. F. Alsanie, A. T. Mansour and R. El-shenody. 2021. Impact of commercial seaweed liquid extract (Tam®) biostimulant and its bioactive molecules on growth and antioxidant activities of hot pepper (*Capsicum annuum*). *Plants*, 10(6), 1–13. <https://doi.org/10.3390/plants10061045>
- Augusto, A., T. Simões, R. Pedrosa and S. F. J. Silva. 2016. Evaluation of seaweed extracts functionality as post-harvest treatment for minimally processed Fuji apples. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 33, 589-595. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.10.004>
- Banakar, S., N., M. K. Prasanna Kumar, H. B. Mahesh, P. B. Parivallal, M. E. Puneeth, C. Gautam, D. Pramesh, T. N. Shiva Kumara, T. R. Girish, S. Nori and S. S. Narayan. 2022. Red-seaweed biostimulants differentially alleviate the impact of fungicidal stress in rice (*Oryza sativa* L.). *Scient. Rep.*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10010-8>
- Baskararaj, S., T. Panneerselvam, S. Govindaraj, S. Arunachalam, P. Parasuraman, S. R. K. Pandian, M. Sankaranarayanan, U. P. Mohan, P. Palanisamy, V. Ravishankar and S. Kunjiappan. 2020. Formulation and characterization of folate receptor-targeted PEGylated liposome encapsulating bioactive compounds from *Kappaphycus alvarezii* for cancer therapy. *3 Biotech*, 10(3): 1–18. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-2132-7>
- Brotosudarmo, T., H. Heriyanto, Y. Shioi, I. Indriatmoko, M. Setya, R. Indrawati and L. Limantara. 2018. Composition of the main dominant pigments from potential two edible seaweeds. *Philipp J. Sci.*, 147(1): 47–55.
- Cai, J. 2021. Global status of seaweed production, trade and utilization. Seaweed Innovation Forum Belize (28 May 2021). Available at: <https://www.competecaribbean.org/wp-content/uploads/2021/05/Global-status-of-seaweed-production-trade-and-utilization-Junning-Cai-FAO.pdf>
- Cai, J., A. Lovatelli, J. Aguilar-Manjarrez, L. Cornish, L. Dabbadie, A. Desrochers, S. Diffey, E. Garrido Gamarro, J. Geehan, A. Hurtado, D. Lucente, G. Mair, W. Miao, P. Potin, C. Przybyla, M. Reantaso, R. Roubach, M. Tauati and X. Yuan. 2021. Seaweeds and microalgae: an overview for unlocking their potential in global aquaculture development. *FAO Fish. Aquacult. Circ.*, 1229. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb5670en>
- Cokrowati, N., Y. Risjani, S. Andayani and M. Firdaus. 2023. Phytohormone quantification of *Kappaphycus alvarezii* at different cultivated ages. *J. Penyuluh.Perikan. Kelaut.*, 28(1): 89–96.
- Dash, A., D. Samant, D. K. Dash, S. N. Dash and K. N. Mishra. 2021. Influence of *Ascophyllum nodosum* extract, homobrassinolide and triacontanol on fruit retention, yield and quality of mango. *J. Environ. Biol.*, 42(4), 1085–1091. <https://doi.org/10.22438/jeb/42/4/MRN-1541>



- Dziugieł, T. and W. Wadas. 2020. Effect of plant biostimulants on macronutrient content in early crop potato tubers. *Agronomy*, 10(8), 1202. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081202>
- Elsharkawy, G., A., H. A. H. Ibrahim, A. H. Salah, M. Akrami, H. M. Ali and D. Y. Abd-Elkader. 2021. Early and total yield enhancement of the globe artichoke using an ecofriendly seaweed extract-based biostimulant and pk fertilizer. *Agronomy*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy11091819>
- Ertani, A., O. Francioso, A. Tinti, M. Schiavon, D. Pizzeghello and S. Nardi. 2018. Evaluation of seaweed extracts from *Laminaria* and *Ascophyllum nodosum* spp. As biostimulants in *Zea mays* L. using a combination of chemical, biochemical and morphological approaches. *Front. Plant Sci.*, 9(April). <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00428>
- Espinosa-Antón, A., A., J. F. Zamora-Natera, P. Zarazúa-Villaseñor, F. Santacruz-Ruvalcaba, C. V. Sánchez-Hernández, E. Águila Alcántara, M. I. Torres-Morán, A. P. Velasco-Ramírez and R. M. Hernández-Herrera. 2023. Application of seaweed generates changes in the substrate and stimulates the growth of tomato plants. *Plants*, 12(7), 1520. <https://doi.org/10.3390/plants12071520>
- FAO. 2022. Thinking about the future of food safety—A foresight report. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb8667en>
- Fatimah, S., H. Alimon and N. Daud. 2018. The effect of seaweed extract (*Sargassum* sp) used as fertilizer on plant growth of *Capsicum annum* (chilli) and *Lycopersicon esculentum* (tomato). *Indones. J. Sci. Technol.*, 3(2), 115–123. <https://doi.org/10.17509/ijost.v3i2.12755>
- Flórez-Jalixto, M., D. Roldán-Acero, J. R. Omote-Sibina and A. Molleda-Ordóñez. 2021. Biofertilizers and biostimulants for agricultural and aquaculture use: Bioprocesses applied to organic by-products of the fishing industry. *Sci. Agropec.*, 12(4): 635-651. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.067>
- Ganesan, M., R. Kannan, K. Rajendran, C. Govindasamy, P. Sampathkumar and L. Kannan. 1991. Trace metals distribution in seaweeds of the Gulf of Mannar, Bay of Bengal. *Mar. Pollut. Bull.*, 22(4): 205–207. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(91\)90472-5](https://doi.org/10.1016/0025-326X(91)90472-5)
- Gara, A. B., N. Hammami, R. Chaaben, A. El Feki, F. P. Pattie, K. Belghith and I. Dahech. 2022. Inhibition of key digestive enzymes related to diabetes and protection of β -cell and liver- kidney functions by *Hypnea spinella* sulfated polysaccharide in diabetic rats. *Res Sq.*
- González-Giro, Z., P. L. Batista-Corbal, Y. González-Pérez, E. Rodríguez-Leblanch y E. Marcos-Albear. 2018. Evaluación de la fitotoxicidad de un extracto acuoso del alga *Padina gymnospora* (Kützinger) sobre semillas de *Lactuca sativa* L. *Biot. Veg.*, 18(3): 181–188.
- Guillén, P. O., P. Motti, S. Mangelinckx, O. De Clerck, P. Bossier and S. Van Den Hende. 2022. Valorization of the chemical diversity of the tropical red seaweeds *Acanthophora* and *Kappaphycus* and their applications in aquaculture: A review. *Front. Mar. Sci.*, 9: 1–21. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.957290>
- Hamzah, L., M., H. K. Hussein and F. K. M. Al-Waili. 2023. Response of sour orange seedlings to spraying with magnesium and seaweed extract Kelpak 40b. April. <https://connectjournals.com/pages/articledetails/toc036548>
- Hassan, S., M., M. Ashour, N. Sakai, L. Zhang, H. A. Hassanien, A. Gaber and G. A. G. Ammarr. 2021. Impact of seaweed liquid extract biostimulant on growth, yield, and chemical composition of cucumber (*Cucumis sativus*). *Agriculture*, 11(4), 1–16. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040320>
- Illera-Vives, M., S. Seoane-Labandeira, M. Fernández-Labrada and M. E. López-Mosquera. 2020. Agricultural uses of seaweed. 591–612. En: Torres, M. D., S. Kraan and H. Dominguez (Eds). *Sustainable seaweed technologies: cultivation, biorefinery, and applications*. Elsevier, Lugo. 732 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817943-7.00020-2>
- Jiménez, J. y G. Torres. 2023. Diagnóstico de la maricultura en Ecuador: oportunidades y desafíos. *AquaTechnica*, 5(2), 134–155. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8411400>
- Karhikeyan, K. and M. Shanmugam. 2017. The effect of potassium-rich biostimulant from seaweed *Kappaphycus alvarezii* on yield and quality of cane and cane juice of sugarcane var. Co 86032 under plantation and ratoon crops. *J. Appl. Psychol.*, 29(6), 3245–3252. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1211-6>
- Khan, W., U.P. Rayirath, S. Subramanian, M. N. Jithesh, P. Rayorath, D. M. Hodges, A. T. Critchley, J. S. Craigie, J. Norrie and B. Prithiviraj. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *J. Plant Growth Regul.*, 28(4): 386–399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>
- Klejduš, B., L. Lojtková, M. Plaza, M. Šnobllová and D. Štěrbová. 2010. Hyphenated technique for the extraction and determination of isoflavones in algae: Ultrasound-assisted supercritical fluid extraction followed by fast chromatography with tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr. A.*, 1217(51): 7956–7965. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.07.020>
- Lawanyawut, K., S. Warotaipan and A. Kaewkong. 2002. Nutritional composition and Ca, P and Fe quantities of seaweed in Thailand. *Fish. Sci.*, 68:1321–1322. https://www.jstage.jst.go.jp/article/fishsci1994/68/sup2/68_sup2_1321/_pdf
- Layek, J., A. Das, R. G. Idapuganti, D. Sarkar, A. Ghosh, S. T. Zodape, R. Lal, G. S. Yadav, A. S. Panwar, S. Ngachan and R. S. Meena. 2018. Seaweed extract as organic bio-stimulant improves productivity and quality of rice in eastern Himalayas. *J. Appl. Phycol.*, 30(1): 547–558. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1225-0>

- Leandro, A., D. Pacheco, J. Cotas, J. C. Marques, L. Pereira and A. M. M. Gonçalves. 2020. Seaweed's bioactive candidate compounds to food industry and global food security. *Life*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/life10080140>
- Lema Ch., E., I. Chóez-Guaranda, O. Ruíz-Barzola, L. I. Jaramillo, A. Pacheco Flores de Valgaz, S. Van Den Hende y P. Manzano Santana. 2023. Estudio de la variabilidad en el tiempo y espacio de la actividad antioxidante y composición bioquímica de *Kappaphycus alvarezii* en diferentes densidades de siembra. *Rev. Bionatura*, 8(1): 1–11. <https://doi.org/10.21931/rb/2023.08.01.13>
- Mantri, V. A., K. Eswaran, M. Shanmugam, M. Ganesan, V. Veeragurunathan, S. Thirupathi, C. R. K. Reddy and A. Seth. 2017. An appraisal on commercial farming of *Kappaphycus alvarezii* in India: success in diversification of livelihood and prospects. *J. Appl. Phycol.*, 29(1): 335–357. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0948-7>
- Matos, G. S., S. G. Pereira, Z. A. Genisheva, A. M. Gomes, J. A. Teixeira and C. M. R. Rocha. 2021. Advances in extraction methods to recover added-value compounds from seaweeds: Sustainability and functionality. *Foods*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/foods10030516>
- Michalak, I., K. Chojnacka, A. Dmytryk, R. Wilk, M. Gramza and E. Rój. 2016. Evaluation of supercritical extracts of algae as biostimulants of plant growth in field trials. *Front. Plant Sci.*, 7: 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01591>
- Mondal, D., A. Ghosh, K. Prasad, S. Singh, N. Bhatt, S. T. Zodape, J. P. Chaudhary, J. Chaudhari, P. B. Chatterjee, A. Seth and P. K. Ghosh. 2015. Elimination of gibberellin from *Kappaphycus alvarezii* seaweed sap foliar spray enhances corn stover production without compromising the grain yield advantage. *Plant Growth Regul.*, 75(3): 657–666. <https://doi.org/10.1007/s10725-014-9967-z>
- Montúfar-Romero, M., R. E. Rincones-León, L. B. Cáceres-Farías, M. M. Espinoza-Vera, U. Avendaño, T. Cruz-Jaime, L. Cubillos, W. Ruiz, W. Revelo, C. Lodeiros, A. Alfaro-Núñez and L. Cáceres-Farías. 2023. Feasibility of aquaculture cultivation of elkhorn sea moss (*Kappaphycus alvarezii*) in a horizontal long line in the Tropical Eastern Pacific. *Sci. Rep.*, 13(1), 14751. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41795-x>
- Mukherjee, A. and J. S. Patel. 2020. Seaweed extract: biostimulator of plant defense and plant productivity. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 17(1), 553–558. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02442-z>
- Murillo Carvajal, R. y R. Romo González. 2021. Diseño de una planta piloto basado en la extracción de bioestimulantes de la macroalga *Kappaphycus alvarezii* con aplicación al sector agrícola. Tesis Ing. Quim., Esc. Sup. Politécn. Lit., Guayaquil. 60 p. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52070/3/T-110225 MURILLO Y ROMO.pdf>
- Murugaiyan, K. 2020. Seasonal studies on the carbohydrate content of some marine macroalgae in Gulf of Mannar coastal region, India. *Trop. Plant Res.*, 7(3): 684–688. <https://doi.org/10.22271/tpr.2020.v7.i3.086>
- Noli, Z., A., Suwirman, Aisyah and P. Aliyyanti. 2021). Effect of liquid seaweed extracts as biostimulant on vegetative growth of soybean. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 759(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/759/1/012029>
- Pandya, M. and S. Mehta. 2023. Seaweed utilizing as a biostimulants in agriculture sector: a review. *Int. J. Res. Appl.*, 11(3): 927–934. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.49561>
- Patel, K., P. Agarwal and P. K. Agarwal. 2018. *Kappaphycus alvarezii* sap mitigates abiotic-induced stress in *Triticum durum* by modulating metabolic coordination and improves growth and yield. *J. Appl. Phycol.*, 30(4): 2659–2673. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1423-4>
- Pedro, S. F., K. S. Franco Jr, V. M. Ribeiro y G. P. Brigante. 2022. Efeitos do fertilizante a base de extratos de algas marinhas no crescimento inicial do cafeeiro. *Res. Soc. Dev.*, 11(17): e79111738844. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i17.38844>
- Pérez-Madruga, Y., I. López-Padrón e Y. Reyes-Guerrero. 2020. Las algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos. *Cult. Trop.*, 41(2): 9. <http://ediciones.inca.edu.cu>
- Pramanick, B., K. Brahmachari, B. S. Mahapatra, A. Ghosh, D. Ghosh and S. Kar. 2017. Growth, yield and quality improvement of potato tubers through the application of seaweed sap derived from the marine alga *Kappaphycus alvarezii*. *J. Appl. Phycol.*, 29(6): 3253–3260. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1189-0>
- Raju, G., S. Kohila and K. Ramachandiran. 2017. Evaluating the effect of seaweed formulations on the quality and yield of sugarcane. *Madras Agric. J.*, 104(4–6): 4–9. <https://doi.org/10.29321/MAJ.04.000423>
- Ramu Ganesan, A., K. Subramani, M. Shanmugam, P. Seedeivi, S. Park, A. H. Alfarhan, R. Rajagopal and B. Balasubramanian. 2020. A comparison of nutritional value of underexploited edible seaweeds with recommended dietary allowances. *J. King Saud Univ. Sci.*, 32(1): 1206–1211. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.11.009>
- Rana, V., S., K. Lingwal, S. Sharma, N. Rana, R. Pawar, V. Kumar and U. Sharma. 2023. Enhancement in growth, yield and nutritive characteristics of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) by the application of biostimulant: seaweed extract. *Acta Physiol. Plant.*, 45(10): 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11738-023-03602-y>



- Ravi, I., K. Kamaraju, S. Kumar and S. Sailaja Nori. 2018. Foliar application of seaweed bio formulation enhances growth and yield of banana cv. grand naine (AAA). *IJONS*, 8(47): 13482–13488.
- Reka, P., A. Thahira Banu and M. Seethalakshmi. 2017. Elemental composition of selected edible seaweeds using SEM- energy dispersive spectroscopic analysis. *Int. Food Res. J.*, 24(2): 600–606.
- Rodriguez Tenorio, P. A., L. Méndez-Rodríguez, E. Serviere-Zaragoza, T. Hara and T. Zenteno-Savín. 2013. Antioxidant substances and trace element content in macroalgae from a subtropical lagoon in the west coast of the Baja California Peninsula. *Vitam. Trace Elem.*, 2(1): 1–5. <https://doi.org/10.4172/2167-0390.1000108>
- Rouphael, Y. and G. Colla. 2020. Editorial: Biostimulants in agriculture. *Front. Plant Sci.*, 11(February), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Rouphael, Y., M. Giordano, M. Cardarelli, E. Cozzolino, M. Mori, M. C. Kyriacou, P. Bonini and G. Colla. 2018. Plant-and seaweed-based extracts increase yield but differentially modulate nutritional quality of greenhouse spinach through biostimulant action. *Agronomy*, 8(7), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agronomy8070126>
- Roy, A., D. Ghosh, M. Kasera, T. R. Girish, S. Nori, R. S. Vemanna, S. Mohapatra, S. S. Narayan and S. Bhattacharjee. 2022. *Kappaphycus alvarezii*-derived formulations enhance salicylic acid-mediated anti-bacterial defenses in *Arabidopsis thaliana* and rice. *J. Appl. Phycol.*, 34(1): 679–695. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02658-y>
- Rudke, A. R., C. J. de Andrade and S. R. S. Ferreira. 2020. *Kappaphycus alvarezii* macroalgae: An unexplored and valuable biomass for green biorefinery conversion. *Trends Food Sci. Technol.*, 103: 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.018>
- Ruiz-Medina, M. A., M. Sansón and A. M. González-Rodríguez. 2022. Changes in antioxidant activity of fresh marine macroalgae from the Canary Islands during air-drying process. *Algal Res.*, 66, 102798. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102798>
- Samuels, L. J., M. E. Setati and E. H. Blancquaert. 2022. Towards a better understanding of the potential benefits of seaweed based biostimulants in *Vitis vinifera* L. cultivars. *Plants*, 11(3), 348. <https://doi.org/10.3390/plants11030348>
- Seo, U., H. Kang, K. Yoon and Y. An. 2019. Analysis of dietary fiber, mineral content and fatty acid composition in Cheonggak (*Codium fragile*). *Korean J. Food Nutr.*, 32(4): 328–334. <https://doi.org/doi.org/10.9799/ksfan.2019.32.4.328>
- Shah, M. T., S. T. Zodape, D. R. Chaudhary, K. Eswaran and J. Chikara. 2013. Seaweed sap as an alternative liquid fertilizer for yield and quality improvement of wheat. *J. Plant Nutr.*, 36(2), 192–200. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.737886>
- Shukla, P. S., T. Borza, A. T. Critchley and B. Prithiviraj. 2021. Seaweed-based compounds and products for sustainable protection against plant pathogens. *Mar. Drugs*, 19(2): 59. <https://doi.org/10.3390/md19020059>
- Shukla, P. S., N. Nivetha, S. S. Nori, D. Bose, S. Kumar, S. Khandelwal, A. Critchley and S. Suryanarayan. 2023. Understanding the mode of action of AgroGain®, a biostimulant derived from the red seaweed *Kappaphycus alvarezii* in the stimulation of cotyledon expansion and growth of *Cucumis sativa* (cucumber). *Front. Plant Sci.*, 14(April), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1136563>
- Sithamparanathan S., W. K. Balasooriya, S. J. Arasakesary and N. Gnanavelrajah. 2019. Effect of seaweed extract (*Kappaphycus alvarezii*) on the growth, yield and nutrient uptake of leafy vegetable *Amaranthus polygamous*. *Trop. Agric. Res.*, 30(3): 81. <https://doi.org/10.4038/tar.v30i3.8321>
- Suresh Kumar, K., K. Ganesan and P. V. Subba Rao. 2015. Seasonal variation in nutritional composition of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty—an edible seaweed. *J. Food Sci. Technol.*, 52(5): 2751–2760. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1372-0>
- Tabet, E., R. Al-Haf, C. Hosri, Z. Zind, L. Farah and D. Darazy. 2021. The effect of fertigation and foliar application of seaweed's biostimulant on banana yield. *Agric. Sci.*, 3(1), p1. <https://doi.org/10.30560/as.v3n1p1>
- Udayan, A., S. Kathiresan and M. Arumugam. 2018. Kinetin and gibberellic acid (GA3) act synergistically to produce high value polyunsaturated fatty acids in *Nannochloropsis oceanica* CASA CC201. *Algal Res.*, 32: 182–192. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.03.007>
- Uju, N. P. S. U. K. Dewi, J. Santoso, I. Setyaningsih, S. D. Hardintyas and Yopi. 2020. Extraction of phycoerythrin from *Kappaphycus alvarezii* seaweed using ultrasonication. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 414(1). 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/414/1/012028>
- Vaghela, P., K. Trivedi, K. G. V. Anand, H. Brahmabhatt, J. Nayak, K. Khandhediya, K. Prasad, K. Moradiya, D. Kubavat, L. J. Konwar, V. Veeragurunathan, P. G. Grace and A. Ghosh. 2023. Scientific basis for the use of minimally processed homogenates of *Kappaphycus alvarezii* (red) and *Sargassum wightii* (brown) seaweeds as crop biostimulants. *Algal Res.*, 70. 102969. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.102969>
- Valverde-Balladares, P. y H. D. Armas. 2023. Potencial nutracéutico de macroalgas marina–Ecuador. *FACSalud UNEMI*, 6(11): 42–52.

Veerman, C., T. Pinto Correia and C. Bastioli. 2020. Caring for soil is caring for life: ensure 75 % of soils are healthy by 2030 for food, people, nature and climat. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. Rep. Mission Board Soil Health Food, Publ. Off., Brussels.82 p. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/821504>

Zakaria, N. A., D. Ibrahim, S. F. Sulaiman and A. Supardy. 2011. Assessment of antioxidant activity, total phenolic content and invitro toxicity of Malaysian red seaweed, *Acanthophora spicifera*. J. Chem. Pharm. Res., 3(1): 675–684.

Zodape, S., T., A. Gupta, S. C. Bhandari, U. S. Rawat, D. R. Chaudhary, K. Eswaran and J. Chikara. 2011. Foliar application of seaweed sap as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). J. Sci. Ind. Res. , 70(3): 215–219.

RECIBIDO / RECEIVED: 25/11/2023

ACEPTADO / ACCEPTED: 11/06/2024