



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo, presentado
al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo para
obtener el título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

TEMA:

Potencial de los extractos bioactivos de algas marinas como
bioestimulantes del crecimiento y protección en plantas.

AUTORA:

Ingrid Damaris Montece Guerrero

TUTOR:

Ing. Alexandra Yomar Gómez Pereira., M.SC.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

2025

RESUMEN

Los extractos bioactivos de algas marinas son de suma importancia debido a que contienen sustancias con acción bioestimulantes como polisacáridos, fenoles, aminoácidos, fitohormonas, vitaminas y minerales que sirven para el buen crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos compuestos bioactivos brindan una mejora en el microbiota del suelo y protección frente a los factores bióticos y abióticos además de presentarse como alternativas más ecológicas y orgánicas. Esta revisión tuvo como objetivo definir el potencial de los extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y protección en plantas. Tomando en cuenta que este trabajo se utilizó información bibliográfica actualizada y de fuentes confiables ya que es un trabajo de carácter investigativo. Dando como resultados que los compuestos bioactivos que contienen las algas marinas brindan nutrientes muy importantes, y por ende desempeñan un rol fundamental dentro de la fisiología de plantas durante el periodo de crecimiento, promoviendo el crecimiento de raíces, la elongación de las plantas y protegiéndolas de factores bióticos y abióticos, tomando en consideración que para que estos extractos bioactivos sean de calidad se debe de hacer uso de los métodos de extracción a fin de separar estos extractos bioactivos y purificarlos, indicando que cada día estas nuevas tecnologías van en avances para mejorar la eficiencia de estos compuestos bioactivos. Se concluye que estos compuestos bioactivos de algas marinas están teniendo una demanda de uso muy sorprendente dentro del sector agrícola debido a que se presentan como alternativas orgánicas, y para lograr tener estos compuestos bioactivos se debe tomar en consideración los métodos de extracción que existen para adquirir compuestos bioactivos de gran pureza y calidad considerando las ventajas y desventajas sobre los métodos de extracción existente para la selección del más adecuado para un resultado más específico.

Palabras clave: Algas marinas, bioestimulantes, ecológico, extractos bioactivos y métodos de extracción.

SUMMARY

Bioactive seaweed extracts are of utmost importance because they contain substances with biostimulant action such as polysaccharides, phenols, amino acids, phytohormones, vitamins and minerals that serve for the good growth and development of plants. These bioactive compounds provide an improvement in the soil microbiota and protection against biotic and abiotic factors, in addition to being presented as more ecological and organic alternatives. This review aimed to define the potential of bioactive seaweed extracts as biostimulants of growth and protection in plants. Taking into account that in this work updated bibliographic information and reliable sources were used since it is a research work. The bioactive compounds contained in seaweed provide very important nutrients, and therefore play a fundamental role in plant physiology during the growth period, promoting root growth, plant elongation and protecting them from biotic and abiotic factors, taking into consideration that for these bioactive extracts to be of quality, extraction methods must be used to separate these bioactive extracts and purify them, indicating that every day these new technologies are advancing to improve the efficiency of these bioactive compounds. It is concluded that these bioactive compounds from seaweed are having a very surprising demand for use within the agricultural sector because they are presented as organic alternatives, and in order to have these bioactive compounds, the extraction methods that exist must be taken into consideration to acquire bioactive compounds of great purity and quality, considering the advantages and disadvantages over the existing extraction methods for the selection of the most suitable for a more specific result.

Keywords: Seaweed, biostimulants, ecological, bioactive extracts and extraction methods.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
1.CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Líneas de investigación	4
2. DESARROLLO	5
2.1. Marco conceptual.....	5
2.1.1. Concepto de algas marinas	5
2.1.2. Características de las algas marinas	5
2.1.3. Clasificación de las algas marinas	5
2.1.4. Microalgas	6
2.1.4.1 Filo-pirrofitas (dinoflagelados):	6
2.1.4.2. Filo-crisófitas:.....	6
2.1.4.3. Filo-euglenófitas:	6
2.1.4.4. Filo-bacilariofitas (diatomáceas):.....	7
2.1.4.5. Cianofíceas:.....	7
2.1.5. Macroalgas.....	7
2.1.5.1. Clorophyta (Algas verdes):.....	7
2.1.5.2. Phaeophyta (algas pardas):	8
2.1.5.3. Rodophyta (Algas rojas):	8
2.1.6. Bioestimulantes	9
2.1.7. ¿Compuestos bioactivos que tienen las algas marinas y cómo actúan dentro de la fisiología de las plantas para crecimiento y protección?.....	12
2.1.7.1. Polisacáridos	12
2.1.7.2. Fenoles	13
2.1.7.3. Aminoácidos	13

2.1.7.4.	Hormonas vegetales.....	14
2.1.7.5.	Vitamina y minerales	15
2.1.8.	¿Métodos de extracción de compuestos bioactivos en algas marinas? 15	
2.1.8.1.	Método de extracción tradicionales	15
2.1.8.2.	Hidrólisis ácida.....	16
2.1.8.3.	Extracciones a base de agua	16
2.1.8.4.	Hidrólisis alcalina	16
2.1.8.5.	Extracción por Soxhlet.....	17
2.1.8.6.	Maceración	17
2.1.8.7.	Extracción Secuencial	18
2.1.9.	Métodos de extracción avanzados.....	18
2.1.9.1.	Extracción asistida por microondas.....	19
2.1.9.2.	Extracción asistida por ultrasonido.....	19
2.1.9.3.	Extracción asistida por enzimas	20
2.1.9.4.	Extracción de fluidos supercríticos.....	21
2.1.9.5.	Ruptura celular en frio	21
2.1.9.6.	Extracción Líquida Presurizada.....	22
2.1.10.	¿Métodos de extracción de compuestos bioactivos más efectivos en algas marinas para mejorar el crecimiento y protección en plantas?	22
2.2.	Marco metodológico.....	25
2.3.	Resultados	26
2.4	Discusión de resultados.....	28
3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	30
3.1.	Conclusiones	30
3.2.	Recomendaciones	31
4.	REFERENCIAS Y ANEXOS	32
4.1.	Referencias bibliográficas.....	32
4.2.	Anexos	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Clasificación de algas</i>	41
Figura 2 <i>Una revisión del potencial del extracto de algas como bioestimulantes para mejorar el crecimiento y mitigar el estrés en cultivos hortícolas.</i>	42

1.CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. Introducción

Las algas son organismos primordiales dentro de los ecosistemas marinos de todas las zonas del mundo. Desde las formas celulares y unicelulares hasta las macroalgas o pluricelulares, facilitando el sustento y refugio a numerosos organismos, además de tener la destreza de cambiar las características fisicoquímicas del entorno en el que habitan (González, 2022).

Los extractos de algas marinas (EAM) han sido producidos comercialmente desde 1980, y ya representan más del 33% del mercado global de bioestimulantes vegetal. En España y Estados Unidos, ya existen compañías líderes en la fabricación de bioestimulantes y biofertilizantes basados en algas marinas ya que estas conservan una amplia aprobación en la agricultura pues son considerados insumos ecológicos, biodegradables, no tóxicos y seguros para la salud animal y humana. Se adquieren a partir de la biomasa de algas marinas recolectada directamente en las costas o cultivadas en mar abierto (Espinosa et al., 2020).

Pacheco (2024) menciona que se han identificado aproximadamente 345 especies de algas dentro del territorio ecuatoriano de las cuales 13.9 % pertenecen a *Chlorophyta*, 14.4 % a *Phaeophyta* y 77.7 % a *Rhodophyta*. Cada uno de estos grupos contienen variedades de metabolitos secundarios que son usadas comercialmente para diferentes fines, incluida la agricultura. La mayor parte de la producción de algas marinas se concentra en la provincia de Santa Elena, en la costa del Pacífico ecuatoriano y es destinada para Estados Unidos, Europa y Asia.

Aunque existen diversos estudios que ha brindado información muy relevante sobre el potencial de los extractos bioactivos de algas como bioestimulantes del crecimiento y protección en plantas. Este proyecto se centrará en el análisis de las investigaciones realizadas del potencial de los extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y protección en plantas.

1.2. Planteamiento del problema

Uno de los principales problemas que enfrenta el mundo actualmente en la agricultura es el uso indiscriminado de agroquímicos o fertilizantes sintéticos, con los que no se han conseguido mayores beneficios en los cultivos, pero sí han logrado tener diversos efectos negativos tanto ambientales como sanitarios. Entre los problemas ambientales se destaca la degradación ecológica que ha llevado a la existencia de zonas muertas en los océanos, eutrofización, infertilidad del suelo y pérdida de biodiversidad (Collahuazo et al., 2019).

De acuerdo con Espinosa et al. (2020) el incremento de la población mundial y el deterioro acelerado de los agroecosistemas en las últimas décadas, impone al sector agropecuario a la búsqueda de nuevos productos orgánicos que permitan obtener producciones agrícolas sostenibles y alimentos más saludables. Además, una de las áreas prometedoras en la agricultura moderna es el uso racional de bioproductos con actividad estimulante del crecimiento de plantas, obtenidos de materias primas locales.

El problema central de esta indagación es determinar cómo los extractos bioactivos de las algas pueden ser utilizados efectivamente en la agricultura para promover el crecimiento vegetal y la protección contra estresores, frente a los riesgos y limitaciones asociados con el uso de productos químicos tradicionales. Se necesita una comprensión más explícita sobre los mecanismos fisiológicos implicados y sobre todo la certeza de estos extractos en las plantas y condiciones ambientales.

1.3. Justificación

Dentro del escenario agrícola donde la aplicación excesiva de pesticidas y fertilizantes químicos han logrado generar diversas inquietudes acerca de la sostenibilidad del medio ambiente y la salud de las personas, por ende, los bioestimulantes naturales como los extractos de algas se muestran como una alternativa más práctica de gran potencial.

Estos extractos pueden ser una estrategia muy valiosa en el cambio hacia una agricultura más ecológica, sostenible para evitar el uso de agroquímicos. Además, los progresivos cambios climático y el incremento de plagas y enfermedades requieren de soluciones innovadoras para asegurar el desarrollo de las plantas y garantizar la seguridad alimentaria, lo que aumenta la importancia de este análisis sobre los extractos bioactivos.

Cabe recalcar que esta indagación favorecerá a la mejora de habilidades y conocimientos agrícolas para que mantengan el cuidado en las plantas y sobre todo la sostenibilidad agropecuaria, donde se asegure mantener la biodiversidad y por ende que beneficien a los agricultores, que son los pilares que mantienen la producción agrícola a nivel mundial.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- ✚ Definir el potencial de los extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y protección en plantas.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✚ Redactar que compuestos bioactivos tienen las algas marinas y cómo actúan dentro de la fisiología de las plantas para crecimiento y protección.
- ✚ Detallar los diferentes métodos de extracción de compuestos bioactivos en algas marinas.
- ✚ Describir los métodos de extracción de compuestos bioactivos más efectivos en algas marinas para mejorar el crecimiento y protección en plantas.

1.5. Líneas de investigación

La presente investigación está enfocada dentro de los dominios de la Universidad Técnica de Babahoyo de Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología. El enfoque principal de este estudio se centra en: “El potencial de los extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y protección en plantas”. En este contexto, específicamente se aborda el Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable y en la Sublíneas de agricultura sostenible y sustentable.

2. DESARROLLO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Concepto de algas marinas

De acuerdo con Martins et al. (2012) Las algas marinas son organismos fotosintéticos de mayor importancia dentro de los ecosistemas marinos a nivel mundial debido a que liberan O₂ en el agua del mar y ayudan a la adherencia del carbono y al ciclo de nutrientes. Además, proporcionan sustento y nicho ecológicos a diferentes organismos. Estos organismos constituyen una fuente de compuestos con diversas aplicaciones que pueden ser utilizados en la industria alimentaria, farmacéutica y biotecnológica y la agricultura.

2.1.2. Características de las algas marinas

Bravo et al. (2022) manifiesta que las algas son un grupo de organismos acuáticos con metabolismo autótrofo, es decir que tienen la capacidad de fabricar su propia materia orgánica algunas, dependiendo de las condiciones, pueden comportarse como heterótrofas. Presentan como pigmento fotosintético principal a la clorofila, característica que intervienen con las plantas superiores. Contienen, además, otros tipos de pigmentos lo que hace que muchas de ellas muestren también coloraciones rojizas, azuladas, pardas hasta ennegrecidas, debido al enmascaramiento del color verde de la clorofila.

2.1.3. Clasificación de las algas marinas

A pesar de la controversia generada en torno a su clasificación biológica y a su estrecha relación con otros grupos como plantas, bacterias, hongos y protozoarios, las algas participan con una serie de características muy similares que las han mantenido como una gran agrupación. Y entre ellas tenemos: las multicelulares llamadas macroalgas estas son por lo general clasificadas en tres grupos, *Chlorophyta*, *Phaeophyta* y *Rhodophyta*. Las unicelulares, generalmente llamadas microalgas, son *Chrysophyta*, Diatomeas y Dinoflagelado (Bravo et al., 2022).

2.1.4. Microalgas

Comprenden las pirrófitas, crisófitas, euglenófitas, bacilariofitas y cianofíceas. Su clasificación se debe primordialmente a la presencia o no de un núcleo diferenciado, el movimiento con uno o varios flagelos, su pared celular y su capacidad para formar colonias (Alonso, 2022).

2.1.4.1 Filo-pirrofitas (dinoflagelados): Forman el *Phylum Pyrrophyta*, estos están constituido por dos clases: *Dinophyceae*, con más de 4.000 especies, y *Syndinophyceae*, cuentan con más 40 especies parásitas y simbiotes. Se adaptan a una gran variedad de ambientes estos se deben a su gran diversidad de estructural. Algunos dinoflagelados tienen una vida libre tiene géneros *Alexandrium*, *Glenodinium*, *Gymnodinium* y *Gonyaulax* estos logran reproducirse con mucha facilidad y volver las superficies de color rojo debido a las neurotoxinas que producen, a lo que se conoce como marea roja, estas suelen ser venenosa para otros organismos marinos (González et al., 2011).

2.1.4.2. Filo-crisófitas: Conocidas como algas amarillas, son organismos unicelulares o pluricelulares que se encuentran en colonias. Su característica principal es la presencia de cromatóforos con pigmentos de color amarillo que les otorgan un aspecto dorado. Estas son de morfología variable con flagelos y sin ellos y en algunos casos se mueven por rizópodos. Siempre se reproducen vegetativamente (Terry et al., 2024).

2.1.4.3. Filo-euglenófitas: Son algas con estructura muy sencilla, cuya característica más significativa es la presencia de una mancha de pigmento fotosensible. Disponen de uno o dos flagelos, lo que les permite cambiar su forma y se duplican por división longitudinal (Terry et al., 2024).

2.1.4.4. Filo-bacilariofitas (diatomáceas): Las diatomeas pertenecen dentro del grupo del fitoplancton más grande del océano estos son los responsables del 40% de la productividad primaria marina. Además, estos desempeñan importantes funciones dentro del ciclo biogeoquímico de elementos biogénicos en el océano. Tienen la capacidad de adaptarse a diferentes ambientes, los macronutrientes son fundamentales para la vida y proliferación de las diatomeas dentro del océano (Xiao et al., 2018).

2.1.4.5. Cianofíceas: Las cianofíceas o también conocidas como cianobacterias son organismos que presentan propiedades de bacterias y de algas fotosintetizadores. Dentro de las características son que mantienen la presencia de clorofila “a”, y además la estructura de los tilacoides y la actuación como productores primarios en la naturaleza. Cabe mencionar que estos microorganismos viven dentro de cuevas, piedras, y han tenido que sufrir series de adaptaciones para sobrevivir a las condiciones más o menos extremas de sus hábitats (Belda, 2021).

2.1.5. Macroalgas

Comprenden las clorófitas o algas verdes, rodófitas o algas rojas y las feófitas o algas marrones. Ellas pueden habitar en aguas dulces o saladas y su color depende primordialmente de la profundidad a la que se desarrollan. Su reproducción puede ser sexual y asexual y estas son las más usadas dentro de la agricultura (Alonso, 2022).

2.1.5.1. Clorophyta (Algas verdes): Las *clorophytas* o también conocidas como algas verdes, son eucariotas la mayoría de estos son acuáticos y fotosintéticos. Estas se reproducen, de forma sexual es de tipo oogamia o isogamia. No obstante, algunas de estas especies pueden reproducirse de manera asexualmente mediante la división celular o la formación de esporas, estas algas son las más utilizadas dentro del área de la agricultura ya que son ricas en clorofila y nutrientes las cuales son usadas

para mejorar la calidad del suelo y el crecimiento en plantas ejemplo *Ulva lactuca* (lechuga de mar), *Chlorella* (De La Cruz, 2022).

2.1.5.2. Phaeophyta (algas pardas): Son algas que alcanzan tamaños de hasta 100 m. Aunque poseen clorofilas, los pigmentos marrones las esconden, por lo que presentan coloración marrón o parda. Estas algas son típicas del agua salada, muy pocas habitan en agua dulce. Este grupo de algas es el que tiene más generalizado su uso en la agricultura, estando el *Ascophyllum nodosum* entre las más utilizadas del grupo con estos fines como reguladoras crecimiento ya que contienen un alto contenido de citoquinina y auxinas (Terry et al., 2024).

2.1.5.3. Rodophyta (Algas rojas): Las algas rojas o también conocida como (*Rodophyta*) estas habitan dentro de las costas. La fotosíntesis de las algas rojas conduce a la formación de estructuras carbonatadas con una arquitectura fascinante. No son tan utilizadas a comparación de las otras macroalgas, pero son de suma importancia para la agricultura debido a que contienen un alto contenido de nutrientes y compuestos bioactivos que ayudan para la nutrición de las plantas (Valdespino et al., 2022).

Las macroalgas (algas marinas) comprenden casi 10.000 especies y favorecen a aproximadamente el 10% de la productividad marina total mundial. Se menciona que diversas algas marinas tienen actividad promotora del crecimiento de las plantas y, por lo tanto, han encontrado una de sus relevancias más universales y continuas en la agricultura como abonos y fertilizantes orgánicos. El uso de diversas algas en la agricultura, como muchas otras prácticas populares, han sido analizados y establecidos mediante experiencias prácticas y ensayos de los agricultores (Battacharyya et al., 2015).

A partir de la década de 1950, el uso de algas enteras ha sido generalmente sustituido por el uso de diferentes tipos de extractos elaborados a partir de diferentes variedades de algas. Los extractos de algas marinas han ganado ahora una aceptación mucho más amplia como “bioestimulantes vegetales”. En general,

los extractos de algas marinas, incluso en bajas concentraciones, son capaces de provocar una serie de respuestas fisiológicas de las plantas, como el impulso del crecimiento de las plantas, el progreso de la floración y el rendimiento, y también una mayor eficacia de los productos, un mejor contenido nutricional de los productos comestibles (Battacharyya et al., 2015).

2.1.6. Bioestimulantes

Carletti et al. (2021) menciona que los bioestimulantes vegetales tienen sustancias y microorganismos que logra aumentar el rendimiento de los cultivos, mejorando la adquisición de nutrientes, aumentando la tolerancia de las plantas al estrés, estimulando los procesos del suelo como sustancias húmicas, aminoácidos e hidrolizados de proteínas, carbohidratos, productos derivados de algas y bacterias causantes del crecimiento de las raíces, y al mismo tiempo son novedosos.

Estos bioproductos, están arraigados a la nutrición, relaciones con el agua, estructura del suelo, pH, metales pesados y patógenos. Gracias a los bioestimulantes, los nutrientes que estos les brindan a las plantas son capaces de reducir los impactos no deseados al medio ambiente, y al mismo instante aseguran que los agricultores consigan un mayor retorno de las inversiones. Cabe mencionar que también mejoran la calidad de los cultivos: Con su uso, el cultivo logra obtener una mayor calidad como (contenido en azúcares, color, firmeza y absorción de nutrientes (Valverde et al., 2020).

Delgado et al. (2024) señala que los bioestimulantes se fabrican mediante la extracción de la biomasa de las algas marinas. La biomasa es la materia orgánica de organismos fotosintéticos extraídos de la biomasa algal, esta biomasa tiene un gran potencial de fuente bioenergética y de bioproductos. Además, una de las principales características es que son fuentes esenciales de carbono neutral y son respectivamente económicas a comparación con otra fuente de materia prima no renovables al ser una materia prima renovable.

Los bioestimulantes contienen ingredientes diferentes que ayudan en el crecimiento de las plantas, estos se pueden clasificar en seis clases que incluyen: ácidos húmicos (HA) y ácidos fúlvicos (FA), hidrolizados de proteínas (PH), extractos de algas, quitosano, y compuestos inorgánicos (Escalante et al., 2021).

González (2022) señala que los ácidos húmicos y fúlvicos, son compuestos de la materia orgánica que se encuentran en los suelos, que proceden de la descomposición de animales, plantas o incluso residuos metabólicos de microorganismos diferentes. La fertilidad del suelo se puede mejorar con estos compuestos, especialmente aumentando la absorción de nutrientes por las raíces. Esto sucede gracias a la elevada capacidad de intercambio catiónico del suelo donde se envuelven estas sustancias, los macro y micronutrientes como el fósforo, nitrógeno, que pueden ser absorbidos por las plantas.

Esto ocurre gracias a la estimulación de las H⁺-ATPasas en la membrana plasmática, que brinda un crucial apoyo en la captación de nutrientes que por ende benefician la elongación celular y el crecimiento de la raíz. Además, estas pueden de una mejor manera a la regulación hormonal de las plantas y fomentar la actividad de enzimas clave comprometidas en el metabolismo como los fenilpropanoides, mejorando su respuesta frente al estrés abiótico y bióticos (González, 2022).

De acuerdo con Cabrefiga et al. (2024) los hidrolizados de proteínas son mezclas de aminoácidos y péptidos que se obtienen mediante hidrólisis química y enzimática de proteínas a partir de subproductos agroindustriales, de origen vegetal (residuos de cultivos), como de desechos animales (colágeno, tejidos epiteliales, etc.). Los efectos directos en las plantas es la buena absorción de nitrógeno esto se da a través de la regulación de enzimas e interviniendo en la vía de señalización en la adquisición de nitrógeno en las raíces. Cabe mencionar que los quelantes han desarrollado efectos para algunos aminoácidos, como la prolina, es la que puede proteger a las plantas contra los metales pesados, va contribuyendo en el movimiento y adquisición de micronutrientes.

Los efectos indirectos en las plantas sobre la nutrición y el crecimiento son de suma importancia para la experiencia agrícola cuando se aplican hidrolizados de proteínas a las plantas y al suelo. El aumento de biomasa se debe a los hidrolizados de proteínas y al movimiento microbiano, la respiración del suelo y, en general, su fertilidad (Cabrefiga et al., 2024).

Falcón et al. (2021) el quitosano es un derivado de la quitina utilizado en los cultivos agrícola de origen natural, no tóxico para los cultivos y biodegradable. Además, es reconocido por ser un polímero lineal de glucosamina soluble en ácidos diluidos, por ende, este se permite el uso en la agricultura. El quitosano y sus derivados, pueden tener una amplia aplicación, gracia a sus potencialidades biológicas y la aportación de diversos genes de defensas contra los diferentes patógenos hallados en estos compuestos.

La extracción algal que se utiliza ayuda en la nodulación, el crecimiento y el rendimiento en las plantas. Además, son los que intervienen en la filtración de N, P, K, la actividad de las enzimas antioxidantes super oxido dismutasa (SOD) y peroxidasa (POD) y las concentraciones de ácidos orgánicos, con lo que reducen el pH de la rizosfera (López et al., 2021).

Espinosa et al. (2020) menciona que existen evidencias científicas que confirman que los (EAM) ayudan a una buena germinación de las semillas, el vigor de las plántulas, el crecimiento y morfología de las raíces, la floración temprana, el retardo de la senescencia, la maduración de los frutos, el rendimiento de los cultivos y la calidad nutricional del producto comestible.

La aplicación foliar y la aplicación directamente al suelo de estos bioestimulantes a base de extracto de algas marinas son de mucha ayuda para la protección y crecimiento de las plantas, esto se debe a que la aplicación foliar ayuda a mejorar la fotosíntesis para una mejor floración, y la aplicación al suelo ayuda a mejorar la estructura del suelo, la cual va a permitir una mejor retención de agua favoreciendo los movimientos microbianos beneficiosos, como hongos micorrícicos y bacterias fijadoras de nitrógeno. Estos bioestimulantes son mejores que los

fertilizantes químicos sintéticos y esto se debe a que sus propiedades como biodegradable, no tóxico y ecológico, lo llevan a ser una alternativa más adecuada para la agricultura sostenible y la agricultura orgánica (Mughunth et al., 2024).

2.1.7. ¿Compuestos bioactivos que tienen las algas marinas y cómo actúan dentro de la fisiología de las plantas para crecimiento y protección?

Los extractos bioactivos de las algas marinas son aquellas sustancias que se pueden extraer de las plantas en este caso de las algas marinas, donde tienen presentes compuestos como: polisacáridos, fenoles, aminoácidos, hormonas vegetales, vitaminas y minerales. Además, estos compuestos pueden variar de una variedad del alga a otra (Gómez et al., 2016).

2.1.7.1. Polisacáridos

Los polisacáridos son denominados bio-macromoléculas que están formadas en largas cadenas unidas por unidades de monosacáridos. La estructura que presentan se debe a la gran cantidad de azúcares simples disponibles como la hexosas y pentosas) así también como los enlaces glucosídicos. En cuanto a su estructura esta depende tanto de la composición como del tipo de enlace, el cual determina la flexibilidad de la molécula (Carvajal et al., 2023).

Las algas marinas son ricas en polisacáridos (azúcares) que poseen diversos efectos como actividad antibacteriana, antiviral y antifúngica, entre otras, Además, su función dentro de la planta es de almacenamiento, transporte y crecimiento (Peso et al., 2012).

La acción de los polisacáridos en plantas es que sintetizan los azúcares en los cloroplastos mediante el proceso de la fotosíntesis es decir que la glucosa la convierten en almidón (almacenamiento). La trehalosa-6- fosfato es uno de los disacáridos que funciona como un carbohidrato de transporte por el floema, este tejido vegetal es el responsable de mover los azúcares y nutrientes desde las Lhojas hacia otras partes de la planta. Investigaciones científicas mencionan que la T6P (Trehalosa) inhibe la degradación del almidón, y en el mismo instante, ayuda

en la estimulación y consumo de la Sacarosa para mantener el crecimiento de la planta (Hernández et al., 2022).

2.1.7.2. Fenoles

Los compuestos fenólicos son moléculas bioactivas naturales con un alto rango de antioxidantes que se encuentran principalmente en diversas partes de los tejidos vegetales y estos tienen actividades biológicas de gran potencial. Los fenoles, son un grupo de compuestos químicos que contienen uno o más grupos hidroxilo (-OH) unidos directamente a un benceno (Consuegra, 2014).

Melo (2019) señala que diversos estudios han demostrado que estos son usados en diferentes funciones como lo son: la defensa contra herbívoros y patógenos, llamativos para agentes polinizadores, la interacción con proteínas y enzimas, estos son responsables de ayudar en la disminución del crecimiento de plantas competidoras cercanas y como cazadores de radicales libres.

Los polifenoles y flavonoides son los más destacados principalmente en las macroalgas pardas ya que han reportado tener un mayor contenido de antioxidantes, esto se debe a que tienen estructuras de anillos por las que juegan un papel primario en cuanto a la estructura de la pared celular y pueden actuar como antioxidantes al donar hidrógeno a los radicales libres y por ende reduce el daño celular de la planta además ayudan en la producción de enzimas antioxidantes en las plantas mejorando su capacidad para manejar el estrés y prevenir daños (Consuegra, 2014).

2.1.7.3. Aminoácidos

Los aminoácidos ayudan a mejorar el suelo y fortalecer las plantas aumentando los rendimientos y su calidad en cosechas. Al aplicar estos extractos de algas marinas en los cultivos las enzimas que éstas contienen, van a fortificar el sistema inmunológico es decir que le va a brindar más defensas a las plantas. Además, ya sea que se aplique de manera foliar o directamente al suelo estos van a realizar la función de fijar el nitrógeno del aire a suelo. Además de hidrolizar

enzimáticamente los compuestos no solubles en el suelo, desmineralizando, desintoxicando, desalinizando y descompactando (Vargas, 2022).

Los aminoácidos son sintetizados normalmente cumpliendo diferentes actividades en las plantas; como la buena absorción de nitrógeno, el efecto quelatante de algunos aminoácidos como L-prolina y la actividad antioxidante de la L-glicina betaína y la prolina. Por otro lado, para la resistencia de la planta está la lisina y el ácido glutámico cabe recalcar que estos aminoácidos son importantes para la formación de otros aminoácidos y compuestos nitrogenados. Los aminoácidos que ayudan para la síntesis de clorofila es la Glicina. Además, juega un papel en la osmorregulación durante el estrés hídrico (Castillo, 2022).

2.1.7.4. Hormonas vegetales

En las algas, se han reconocido como fitohormonas y reguladores en el crecimiento de las plantas como las citoquininas, auxinas, giberelinas los cuales regulan los procesos fisiológicos como los es en el crecimiento, floración y condiciones de estrés ambiental (López et al., 2020).

Según Megías et al. (2024) menciona que el movimiento de las auxinas dentro de la pared celular de la planta, es el ablandamiento de la pared celular gracias a que crea un medio ácido y así la célula puede crecer en tamaño. En cambio, la participación de las giberelinas en la fisiología de planta causa proliferación y crecimiento celular. El mecanismo de acción empieza en los cloroplastos, pero también participa dentro de la membrana plasmática la cual se transportan por el sistema vascular. Además, que tiene la destreza de transportarse por la xilema al resto de la planta.

Las citoquininas o también conocidas citocininas la cumbre hasta donde pueden llegar es hasta el floema en desarrollo, también participan en la respuesta de la planta contra estresores abiótico aumentando o disminuyendo su concentración y beneficiando la resistencia dentro la planta. Por ejemplo, en la escasez de agua, la salinidad y las temperaturas extremas. Su acción comenzara en la raíz si en alguna parte de la planta hay más auxinas que citoquininas, si es

menor se iniciara en el tallo. También, en conjunto con la auxina, participa en la reparación de daños mecánicos en cualquier parte de la planta (Megías et al., 2024).

2.1.7.5. Vitamina y minerales

Las vitaminas y minerales que estas contienen como lo son: hierro, calcio, magnesio, fósforo, nitrógeno, potasio, bario, boro, cobalto, cobre, magnesio, manganeso, molibdeno, níquel y zinc son las responsables de los efectos beneficiosos que provoca dentro de la fisiología de las plantas, al ir estimulando diversos procesos fisiológicos de las mismas (Meza et al., 2024).

Los minerales extraídos de la biomasa de las algas marinas desempeñan funciones importantes en la fisiología de las plantas como: aumentar la fotosíntesis con un suministro bajo de nitrógeno (N), potasio (K), boro (B) y zinc (Zn) la cual fortalecen la pared celular y activa enzimas antioxidantes para minimizar los efectos nocivos de las Especies Reactivas del Oxígeno (ROS) ya que se las conoce como moléculas reactivas donde incluyen radicales libres y otros compuestos que contienen oxígeno y protegen a las plantas y crean defensas contra patógenos, y la presencia de vitamina C y complejo B actúan como antioxidantes y son de suma importancia para el metabolismo celular de la planta (Quassi et al., 2024).

2.1.8. ¿Métodos de extracción de compuestos bioactivos en algas marinas?

Sadeghi et al. (2024) señala que los métodos de extracción para los compuestos bioactivos de las algas marinas son técnicas usadas para separar productos químicos de mezclas de reacción o fuentes naturales con el fin de purificarlos de forma discontinua o continua. El procedimiento de extracción es la primera y más importante etapa en la extracción de algas. El proceso implica agregar una cantidad específica de solvente al procedimiento de extracción, los métodos de extracción se clasifican en métodos tradicionales y avanzados.

2.1.8.1. Método de extracción tradicionales

Los métodos tradicionales de procesamiento para adquirir los compuestos bioactivos de algas marinas necesitan un uso intenso de tiempo y disolventes. En

la actualidad se están desarrollando tecnologías de innovación para mejorar los métodos de extracción en el proceso de las macroalgas, con el único objetivo de mejorar las ganancias de compuestos valiosos, y al mismo tiempo que minimice o evita el uso de disolventes orgánicos (Lormatire et al., 2022).

2.1.8.2. Hidrólisis ácida

Shukla et al. (2019) menciona que dentro de este método se usa la biomasa del alga marina se la pica y se la trata con ácido sulfúrico o ácido clorhídrico a 40-50 °C durante 30 minutos para dañar a los enlaces peptídicos en proteínas, separando a los aminoácidos y colocarlos individualmente. Según las investigaciones señalan que la hidrólisis ácida elimina a los compuestos fenólicos y aumenta la despolimerización de polisacáridos. Este método es utilizado especialmente para la extracción de polisacáridos sulfatados que contienen fucosa.

2.1.8.3. Extracciones a base de agua

En este tipo de método se recolectan las algas y se les eliminan los elementos extraños con agua limpia para eliminar residuos o partículas no deseadas luego se lava por segunda vez con agua destilada. Las algas lavadas se ponen a secar a la sombra durante 3 a 4 días a temperatura ambiente. Las muestras de algas secas se trituran utilizando un triturador y el material que se obtiene (polvo) se guarda dentro de un recipiente hermético. Dentro de este método los residuos sólidos son separados con diferentes métodos como lo es la filtración en función del uso final del bioestimulantes (Thynraj et al., 2023).

2.1.8.4. Hidrólisis alcalina

Este tipo de método se basa en la extracción de la biomasa del alga marina en soluciones de NaOH o KOH, a temperaturas bajas que va entre 70 y 100°C. dentro de este proceso descomponen los polisacáridos complejos en oligómeros pequeños con un peso molecular menor. El tratamiento alcalino de la biomasa de lo que hace es que produce nuevos compuestos que no están presentes en la

biomasa de algas. Estos compuestos son los derivados de la interacción de los químicos de hidrólisis (KOH) y los constituyentes de los tejidos de las algas pardas, el resultado de la degradación, reordenamiento, condensación y reacciones sintéticas catalizadas por bases (Shukla et al., 2019).

Didion et al. (2023) menciona que algunos de los métodos de extracción en algas marinas más tradicionales toman mucho tiempo y por ende pueden solicitar grandes cantidades de disolventes orgánicos tóxicos y no biodegradables como cloroformo y dicloroetano, además que requiere una gran cantidad de energía en forma de calor.

2.1.8.5. Extracción por Soxhlet

Este método se basa mediante un proceso de extracción sólido-líquido, donde la calentura que se maneja debe ser alta tolerando a ser uno de los principales inconvenientes, sin embargo, este método ayuda a tener una solubilización de las sustancias utilizando principalmente disolventes de punto de ebullición bajo, ejemplo: diclorometano, metanol o hexano. Durante el tiempo de extracción se hace uso de un aparato que consta de tres partes: matraz de fondo plano, un cuerpo extractor y un refrigerante (Ochoa, 2024).

De acuerdo con Ochoa (2024) dentro del cuerpo del extractor es colocado el disolvente orgánico que se va a utilizar durante el proceso de ebullición y los vapores que estos botan por el tubo lateral llegan al congelador donde se procede el tiempo de condensación y caen sobre la droga situada en el cuerpo del extractor cabe mencionar que cuando el extractor se llena de líquido extractivo, se procede a vaciar por el sifón lateral interno la cual desemboca en el matraz inferior. Este método de extracción es usado principalmente para la extracción de lípidos y otros compuestos de interés a escala industrial.

2.1.8.6. Maceración

La extracción mediante la maceración se trata de un método de extracción sólido-líquido, donde la materia principal contiene variedades de compuestos

solubles en el disolvente de extracción los cuales se pretende extraer. El proceso de maceración forja dos productos que pueden ser empleados dependiendo de las necesidades de uso, el sólido ausente de esencias o el propio extracto. Cabe mencionar que este método se acabó a partir de la trituración de las algas en donde estas luego proceden hacer remojadas en un solvente, permitiendo que los compuestos se desprendan de manera pasiva. Es uno de los procesos más simple y efectivo, pero requiere tiempos prolongados para obtener rendimientos óptimos (Araiza et al., 2019).

2.1.8.7. Extracción Secuencial

El método de extracción secuencial es utilizado para conseguir compuestos bioactivos de algas marinas mediante el uso de varios solventes diferentes en etapas sucesivas. Normalmente se hace el uso de una extracción secuencial, con una primera etapa de agua-disolvente orgánico para lograr extraer los ácidos fenólicos solubles de las algas. Los ácidos fenólicos son los que se encuentran fusionados a las células por los enlaces glucosídicos o ésteres y es importante hidrolizarlos en medio ácido o básico. El enfoque principal de este método permite maximizar la recuperación de diversos metabolitos, aprovechando las propiedades específicas de cada solvente para extraer compuestos de diferentes polaridades y estructuras químicas (Consuegra, 2014).

2.1.9. Métodos de extracción avanzados

El uso de estos métodos avanzados ha logrado demostrar algunos beneficios significativos, como lo es el ahorro de tiempo de extracción y temperatura. Estas reducciones de energía van desde (0,2 kW/h) y en cuanto a los beneficios ambientales desde (200 g CO₂ / 100 g de material sólido extraído). Además, el uso de estas técnicas se concientizan los principios de extracción que son considerados con el medio ambiente. Cabe mencionar que las características de los compuestos extraídos también son óptimas (Lormatire et al., 2022).

2.1.9.1. Extracción asistida por microondas

Según Matos et al. (2021) la extracción asistida por microondas (MAE) es una de las tecnología no química, más rentable y usada en la actualidad a escala de laboratorio. Esta tecnología hace uso de la irradiación de microondas, ya que forjando calor directamente en el interior de la matriz, mediante las colisiones y fricciones entre moléculas, brindando como resultado un calentamiento rápido (unos pocos segundos).

Las microondas se utilizan para calentar la muestra de macroalga, lo que acelera el proceso de extracción es decir que este método se basa principalmente en la absorción de energía del microondas que va de (3 a 5 minutos con una potencia de 540 y 900 W) por las moléculas de agua presentes en las algas, esto induce a un rápido aumento de calentura maximizando el rendimiento sin degradar los compuestos. Además, este calentamiento forja presión en la parte interna del alga lo cual va a facilitar la ruptura celular y la liberación de compuestos bioactivos. Esto puede ser útil para aumentar la eficiencia de extracción y reducir el tiempo de procesamiento (Delgado et al., 2024).

La extracción asistida por microondas (MAE) ofrece unas series de ventajas que lo convierte en un método altamente interesante. Sus beneficios son: alta eficacia y la capacidad de calentar las materias primas de manera selectiva y localizada. Esto ayuda a la mejora de la transferencia de masa y mejora la alteración del tejido, lo que resulta en un proceso de extracción más rápido. Actualmente, se utiliza para extraer diversos biocompuestos, como polisacáridos y compuestos fenólicos, de algas pardas, rojas y verdes. De hecho, se ha demostrado que MAE puede aumentar los rendimientos de polifenoles en un 70%, lo que subraya la efectividad en la obtención de estos valiosos compuestos (Matos et al., 2021).

2.1.9.2. Extracción asistida por ultrasonido

El método de extracción por ultrasonido es un método donde la tecnología esclava para lograr el objetivo de una buena extracción sostenible. Cabe mencionar

que este tipo de método tiene un efecto significativo en cuanto la velocidad de diversos procesos en la industria química. Usando ultrasonido para la extracción de los compuestos bioactivos en algas marinas, ahora se logra completar extracciones completas en minutos con alta reproducibilidad, disminuyendo el consumo de solvente, facilitando la manipulación y el procesamiento, obteniendo como resultado una mayor pureza del producto final (Chemat et al., 2017).

Ejemplo, en las matrices vegetales de las algas se debe aplicar energía en forma de ondas de ultrasonido a la biomasa en un proceso llamado sonicación la cual crea cavitación, es decir la reproducción de pequeños huecos y burbujas en el disolvente, la cual estas burbujas se rompen y provocan temperaturas localizadas muy altas que va hasta 4500 °C y presiones hasta 500 bar. Lo que causa esta irradiación ultrasónica, es que altera las células y por ende aumentan el traspaso de masa entre la biomasa y el disolvente durante el proceso de extracción (Didion et al., 2023).

2.1.9.3. Extracción asistida por enzimas

En los últimos años se ha vuelto de mayor interés la extracción asistida por enzimas (EAE), debido a que utilizan las enzimas que degradan las paredes celulares, como pectinasas, celulasas, glucanasas y xilanasas. La extracción asistida por enzimas es un método de extracción extensamente descrito y conocido ya que permite optimizar la eficacia de la extracción mediante el uso de enzimas la cual hidrolizan los componentes individuales de las paredes celulares en las algas ayudando a la liberación de metabolitos de suma importancia como polisacáridos y fitohormonas. Las paredes celulares de las algas contienen una estructura muy difícil la cual estas compuesta de muchos polímeros distintos como lo es la celulosa, pectinas y proteínas (Rafińska et al., 2022).

Según Asanka et al. (2023) la extracción asistida por enzimas (EAE) ofrece diversas ventajas a comparación que los métodos de extracción tradicionales y estos son: disminución de la temperatura de operación, el uso de disolventes considerados para el medio ambiente, tiempos de extracción reducidos,

disminución del volumen de solvente usado, mejores rendimiento en los niveles anhelados de los compuestos bioactivos en extracto, y por último la ventaja de mantener la actividad original de los compuestos bioactivos extraídos.

2.1.9.4. Extracción de fluidos supercríticos

Estupiñán et al. (2022) señala que la extracción por fluidos supercríticos (FSC) es una técnica innovadora la cual hace uso del dióxido de carbono (CO₂) en estado supercrítico para extraer compuestos bioactivos de las algas. En este estado, el CO₂ combina las propiedades de líquidos y gases, lo que va a permitir disolver de manera efectiva los solutos. Una de las ventajas de este método es su selectividad, ya que se pueden ajustar la presión y la temperatura para obtener extractos específicos. Además, consume menos energía y facilita la eliminación de los fluidos utilizados, evitando el uso de solventes orgánicos. Gracias a su baja toxicidad y alta disponibilidad, el CO₂ es el fluido más comúnmente empleado.

Dentro de este proceso se respeta el medio ambiente, ya que no altera las propiedades químicas de los compuestos extraídos y permite obtener productos de alta calidad. La FSC es especialmente efectiva en reacciones gas-líquido, ya que elimina la interfaz entre ambos estados, mejorando así la transferencia de masa y aumentando el rendimiento del proceso (Estupiñán et al., 2022).

2.1.9.5. Ruptura celular en frío

Silva et al. (2022) señala que este método de extracción, se procede a tomar la biomasa recolectada y se las distribuye en tubo de ensayo, los mismos que se centrifugan a 3700 rpm durante 25 min., con el único motivo de evitar la degradación de la muestra, la centrifugación se realiza con una refrigeración. La ruptura celular se realiza por proceso de congelamiento/descongelamiento, en primer lugar, se congela durante 12 horas a 0°C, con este método se facilita la liberación de los compuestos bioactivos que contienen las algas además este método de extracción es complejo porque no se necesita utilizar disolventes químicos tóxicos ni crea restos contaminantes, por ende, se categoriza como una opción respetuosa con el medio ambiente.

2.1.9.6. Extracción Líquida Presurizada

Sánchez (2017) señala que la extracción con líquidos presurizados se basa principalmente en el uso de disolventes con temperaturas sumamente altas (siempre por debajo de sus puntos críticos), en condiciones en las que los disolventes se conservan en estado líquido mediante el proceso de extracción. A este tipo de métodos se los conoce como extracción con fluidos presurizados (PFE, de sus siglas en inglés), extracción presurizada con disolventes calentados (PHSE) y por último extracción acelerada con disolventes (ASE).

Los requisitos necesarios para llevar a cabo un proceso de extracción con líquidos presurizados son: se introduce una bomba de disolvente en el sistema esto va a ayudar a destituir el extracto en la vía de recolección, luego dentro de una celda de extracción, coloca la muestra, el horno donde se instala la celda de extracción para que se pueda calentar hasta el valor de temperatura deseado (la temperatura máxima de trabajo en la mayoría de los instrumentos es de unos 200 °C) todo esto para que la alta presión ayude a liberar los compuestos bioactivos que se encuentran dentro de la estructura celular del alga marina (Sánchez, 2017).

2.1.10. ¿Métodos de extracción de compuestos bioactivos más efectivos en algas marinas para mejorar el crecimiento y protección en plantas?

Mediante el proceso de la extracción de los compuestos bioactivos de las algas marinas es de suma importancia para la eficacia de los bioestimulantes. Los diferentes métodos de extracción que existen influyen directamente en la excelente calidad y la mejora de concentración de los compuestos bioactivos presentes en los bioestimulantes, lo cual va a impactar en el rango de su garantía. Además, la sostenibilidad en los métodos de extracción es un proceso cada vez más importante ya que las industrias buscan proporcionar la eficacia de los bioestimulantes con prácticas consideradas con el medio ambiente, por ende, bajo todo este contexto se aborda las nuevas oportunidades en la investigación y desarrollo de estos productos (Futureco Bioscience, 2024).

Entre los métodos más efectivos para la extracción de los compuestos bioactivos se tenemos las técnicas avanzadas como: la extracción asistida por microondas, ultrasonido y enzimas, así como la ruptura celular en frío y la extracción de fluidos suscritos. Estas técnicas son clave porque ofrecen una alta eficiencia y calidad en los bioactivos obtenidos, además de ser respetuosas con el medio ambiente. Con el uso estos métodos, se logra una mejor selectividad para aislar los compuestos deseados, evitando la formación de reacciones no deseadas. Esto no solo optimiza el proceso de extracción, sino que reduce el tiempo requerido permitiendo trabajar a temperaturas más bajas, lo que contribuye a un rendimiento más eficiente. (Quitérico et al., 2022).

De acuerdo con Manzoor et al. (2024) los métodos convencionales de extracción se basan mucho en productos químicos sintéticos, lo cual estos son muy agresivos y también requieren de altas temperaturas, y todo aquello genera preocupación sobre el impacto ambiental y la eficiencia de las extracciones. Cabe mencionar que con los métodos de extracción avanzadas se pueden aprovechar las propiedades de mejor calidad de los extractos bioactivos derivados de las algas marinas donde se puede: promover opciones de alimentos más saludables, adoptar prácticas sostenibles y minimizar el impacto ambiental.

Con estas nuevas investigación e innovación continuas que se realizan, se pueden observar que los compuestos bioactivos de algas marinas tienen un inmenso potencial para revolucionar las áreas de los agricultores, llevándolos hacia un camino con futuro más saludable y sostenible (Manzoor et al., 2024).

Sánchez (2017) señala que con el uso de estas técnicas se puede ayudar significativamente a alterar las matrices naturales de las algas marinas que van a ser extraídas, y por ende se va a tener un aumento en los rendimientos de extracción y también puede facilitar la recuperación de los compuestos bioactivos de interés. Debido a las ventajas intrínsecas que estos procesos combinados pueden proporcionar, el desarrollo de este tipo de enfoques puede ser altamente favorable para aplicaciones comerciales.

Por ejemplo, la extracción asistida por enzimas es considerada como una técnica verde la cual aprovecha los procesos de hidrólisis enzimática para proporcionar ayuda en la liberación de compuestos interesantes al disolvente de extracción. En el caso de material vegetal y, específicamente, de las algas, esta técnica presenta la gran ventaja de beneficiar la hidrólisis de componentes bioactivos que se encuentran incorporados a los componentes de la pared celular, aumentando así su eficiencia de extracción (Sánchez, 2017).

Independientemente de la técnica de extracción que se realice para la extracción de los compuestos bioactivos de algas marinas, se deben observar los parámetros de extracción y la optimización del mismo ya que pueden influir en la estructura química, la bioactividad y el uso industrial potencial. Además, de la conservación de la integridad estructural de los extractos de algas marinas es crucial para obtener las características estructurales relevantes requeridas para sus actividades biológicas específicas (Dobrinčić et al., 2020).

2.2. Marco metodológico

En la elaboración del presente documento se recopiló información actualizada como lo son artículos científicos, sitios web y bibliotecas virtuales (Scopus, Google academic, Scielo, ScieceDirect, etc.) que aportaron opiniones e ideas de autores que permitieron estudiar el proceso de la presente investigación. Se especificó la temática relevante sobre el Potencial de los extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y protección en plantas. El presente trabajo se desarrolló como una investigación no experimental de carácter bibliográfico, mediante el uso de síntesis, análisis, y resumen de la información que se recopiló.

2.3. Resultados

Diferentes estudios han logrado demostrar que los compuestos bioactivos que contienen algunas de las algas marinas que son usadas dentro de la agricultura tienen polisacáridos estos son los encargados del almacenamiento y transporte de los azúcares para el crecimiento de las plantas, luego encontramos los fenoles que sirven como antioxidantes para defensa contra patógenos y por ende ayuda en la disminución de las plantas competidoras (arvenses), también encontramos los aminoácidos que actúan como buenos absorbentes del nitrógeno ayudando en la síntesis de la clorofila la cual interviene como osmorregulador del estrés hídrico.

Dentro de estos compuestos bioactivos también se encuentran las hormonas vegetales (citoquininas, auxinas, giberelinas) que operan como reguladores del crecimiento y la buena floración en la planta, sus mecanismos de acción empieza desde los cloroplastos y dentro del sistema vascular la cuales ayuda en las condiciones de estrés ambiental, y por ultimo también encontramos vitaminas y minerales cuya función es de aumentar de la fotosíntesis con un suministro bajo de N, B, Zn estos fortalecen las paredes celulares de las plantas activando las enzimas antioxidantes para minimizar los efectos nocivos del (ROS) y dentro de las vitaminas tenemos hierro, calcio, magnesio, fosforo, nitrógeno etc., estas vitaminas van estimulando el proceso fisiológico de la planta.

Los métodos de extracción son técnicas que se usan para extraer los compuestos bioactivos de algas marina, con el único fin de separar estos bioactivos y purificarlos, y para esta purificación se utilizan diferentes tipos de solventes tóxicos dependiendo las propiedades químicas, entre los solventes más usados tenemos: el etanol, metanol, hexano, éter etílico y cloroformo. Dentro de los métodos de extracción tenemos métodos de extracción tradicionales y métodos de extracción avanzadas. Los métodos tradicionales: Hidrolisis acida, extracción a base de agua, hidrolisis alcalina, extracción por Soxhlet, maceración y extracción secuencial estos son simples y económicos, con estos métodos de extracción se hace uso de altas temperaturas y requieren largos tiempos de extracción y por ende se puede obtener compuestos bioactivos menos puros.

En cambio, los métodos de extracción avanzados (extracción por microondas, extracción por ultrasonido, extracción por enzimas, fluidos supercríticos, ruptura celular en frío, extracción presurizada son alternativas más eficientes y sobre todo sostenibles en donde no se hace uso de solventes tóxicos, ejemplo entre los solventes que se utiliza está el dióxido de carbono (CO₂) etc. Además; los tiempos de extracción son menor a comparación de los tradicionales y la calidad extraída de los compuestos bioactivos de algas marinas son mucho más puros.

En cuanto a la elección de los métodos de extracción más eficientes para la correcta obtención de estos extractos bioactivos para un buen crecimiento y protección en plantas tenemos los métodos de extracción avanzada como lo son: extracción asistida por microondas, extracción asistida por ultrasonido, extracción asistida por enzimas, extracción de fluidos suscritos y por último la ruptura celular en frío.

Estos métodos son los más eficientes debido a que extraen de una manera más pura los compuestos bioactivos deseados, y estos se debe a que no utilizan productos químicos sintéticos, y no requieren de altas temperaturas ni de mucho tiempo para obtener el bioactivo deseado y por último estos métodos son respetuosos con el medio ambiente. Cabe mencionar que todos estos avances en cuantos a los métodos induce al sector agropecuario hacia un futuro más sostenible y sustentable.

2.4 Discusión de resultados

Mi investigación ha logrado demostrar que los extractos bioactivos que contienen las algas marinas que son usadas dentro de la agricultura son los polisacáridos, fenoles, aminoácidos, vitaminas y minerales las cuales mejoran la comercialización y la calidad de los cultivos ayudándoles en el crecimiento y desarrollo fisiológico de la planta, resultados que concuerdan con los hallazgos de Espinosa et al. (2020). Donde señala que los extractos de algas marinas son grandemente usados en la agricultura ya que son mezclas complejas de compuestos bioactivos tales como reguladores del crecimiento, polisacáridos, fenoles, aminoácidos, vitaminas, macro y microminerales.

Pese a todo beneficio que brindan los compuestos bioactivos dentro de la fisiología de la planta, existen algunas controversias en cuanto a su uso ya que no han sido aprovechados al máximo debido al escaso conocimiento de estos compuestos bioactivos. Como lo indica Sariñana et al. (2021) que los compuestos bioactivos de las algas marinas no siempre van a lograr un cambio significativo en la planta debido a que las condiciones y efectividad varían mucho debido al tipo de alga que se utilice y en las condiciones ambientales en las que se aplique, ya que las algas marinas que se usan son de diferentes especies, las mismas que contienen compuestos bioactivos diferente unas tienen en mayor cantidad y otras en menor cantidad.

En cuanto a los métodos de extracción que existen para extraer estos compuestos de las algas marinas mi trabajo demuestra que existen diferentes métodos de extracción mismos que van desde los más tradicionales hasta los más avanzados para una extracción más pura. Mismos resultados que concuerdan con los resultados de Lormatire et al. (2022) donde menciona que los métodos de extracción en algas marinas que existen son técnicas que se usan para extraer los compuestos bioactivos de las algas, con el único fin de separar los compuestos bioactivos y purificarlos, este debate se complica por los múltiples enfoques sobre los métodos de extracción en algas marinas, donde cada método presenta sus ventajas y desventajas.

Por otro lado, los métodos de extracciones existentes para las algas marina han generado opiniones contradictorias entre investigadores ya que Yucra et al. (2019) señala que los métodos tradicionales no son convenientes debido a que son practicas insostenibles y perjudiciales para el medio ambiente por el gasto de mayor temperatura y los bajos rendimientos de purificación en los compuestos bioactivos a comparación con los métodos avanzados. Otro hallazgo contradictorio están los resultados de Nuñez et al. (2019) donde hace énfasis en el uso de una técnica tradicional (maceración) mediante esta técnica ofrece beneficios para su uso dentro de la industria, y esto se debe a que se emplean reactivos de bajo costo (como es etanol) y el equipamiento que se usan no afecta al medio ambiente.

Nuestros resultados arrojan que los diferentes métodos de extracción avanzadas actúan directamente en la excelente calidad y la mejora de concentración de los compuestos bioactivos para un buen crecimiento y desarrollo en las plantas. Resultados que se asemejan con la investigación de Matos et al. (2021) donde señala que entre los métodos más efectivos y de carácter innovador tenemos las técnicas avanzadas como: la extracción asistida por microondas, ultrasonido y enzimas, así como la ruptura celular en frío y la extracción de fluidos suscritos y estos métodos están ganando popularidad por ser más sostenibles y eficientes y sobre todo no usan solventes dañinos para el ambiente.

De acuerdo con nuestra investigación y los métodos mencionados anteriormente podemos señalar el alto valor (costo) de los métodos de extracción avanzados se deben a la cálida y pureza de compuestos bioactivos que se extraen de las algas marinas para el buen desarrollo y crecimiento de las plantas. Pero existen contradictorias como las de Quiterio et al. (2022) donde señala que estos métodos mencionados no pueden ser tan sostenibles ni tan eficientes como los sugieren otros autores debido a las limitaciones que estos presentan por sus altos costos económicos que son totalmente ignoradas por algunas comunidades agrícolas a comparación con los métodos tradicionales que si son más accesibles además que estos métodos innovadores aún están un poco limitados con el uso masivo a comparación con los métodos convencionales.

3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

Los compuestos bioactivos de las algas marinas son ricas tanto en macro como micronutriente y por ende desempeñan un rol fundamental dentro de la fisiología de plantas durante el periodo de crecimiento, promoviendo el crecimiento de raíces, la elongación de las plantas y protegiéndolas de factores bióticos y abióticos. Estos compuestos bioactivos de algas marinas están teniendo una demanda de uso muy sorprendente debido a que se presentan como alternativas orgánicas dentro del sector agrícola.

Los métodos de extracción que existen para obtener los compuestos bioactivos presente en las algas marinas son de suma importancia para la extracción del mismo debido a que influyen directamente en la calidad y pureza de los compuestos bioactivos que queremos obtener.

Los métodos más eficientes para el crecimiento y protección en plantas se destacan los métodos de extracción avanzados debido a la capacidad que estos tienen para maximizar los resultados obtenidos para beneficiar el cuidado de la salud vegetal ejemplo la extracción asistida por ultrasonido y la extracción asistida por microondas son ejemplares de técnicas avanzadas que han demostrado ser particularmente eficaces tanto en la reducción de tiempo para extraer estos compuesto bioactivos y en la preservación de la calidez y pureza de los compuestos bioactivo.

3.2. Recomendaciones

Fomentar la investigación y el desarrollo de estos compuestos bioactivos de algas marinas para una agricultura orgánica, mediante esta investigación se ha logrado demostrar la efectividad que tienen estos compuestos bioactivos en las plantas.

Es importante promover la investigación sobre los métodos de extracción en algas marinas para poder minimizar el uso de solventes tóxicos y por ende mitigar los daños ambientales que estos causan y poder obtener extractos bioactivos con una mayor concentración.

Para adquirir compuesto bioactivo de gran calidad y pureza es recomendable investigar como estos métodos de extracción más eficientes como lo son los métodos de extracción asistida por microondas y extracción asistida por ultrasonido, puedan adaptarse y estar económicamente al alcance de los agricultores pequeños, manteniendo la pureza y calidad de los extractos.

4.REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. Referencias bibliográficas

Abbas Sadeghi., Ali Rajabiyani., Nafise Nabizade., Najme Meygoli Nezhad., & Amanollah Zarei-Ahmady. (2024). Seaweed-derived phenolic compounds as diverse bioactive molecules: A review on identification, application, extraction and purification strategies. *International Journal of Biological Macromolecules*, 266(1).

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131147>

Alonso, P. L. (2022). Las algas en el tratamiento de aguas residuales: el origen de las biorrefinerías. *lagua*.

<https://www.iagua.es/blogs/pablo-lopez-alonso/algas-tratamiento-aguas-residuales-origen-biorrefinerias>

Araiza Macías, M. J., Balandrano Fernández, A. L., & Hernández Contreras, J. P. (2019). *Alga Sargazo como posible fuente de materias primas para la extracción de carotenoides* {Memorias del Concurso Lasallista de Investigación, Desarrollo e innovación, Universidad La Salle}. Repositorio Institucional REIMS.

<https://repositorio.lasalle.mx/handle/lasalle/1994>

Asanka-Sanjeewa, K.K., Herath, K.H.I.N.M., Young-Sang Kim., You-Jin Jeon., & Se-Kwon Kim. (2023). Enzyme-assisted extraction of bioactive compounds from seaweeds and microalgae. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 167.

<https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117266>.

Battacharyya, D., Zamani, M., Rathor, P., & Prithviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 39-48.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012>.

Bravo Vera, M. D., & Saltos Palma, J. F. (2022). *Efecto de bioestimulantes a base de algas marinas en el cultivo de fréjol caupí (Vigna unguiculata L. Walp)* {Tesis de Licenciatura, ESPAMMFL}. Repositorio ESPAM.

<http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1878>

Belda Abad, A. (2021). *Estudio del biodeterioro de cuevas y abrigos provocado por el crecimiento de las microalgas*. {Tesis de Licenciatura, Universidad Miguel Hernández}. Repositorio RediUMH.

<https://dspace.umh.es/handle/11000/31319>

Cabrefiga, J., & Boix, M. (2024). Los bioestimulantes, ¿van a revolucionar la fertilización del futuro?. *Vida Rural*, 550, 26-32.

<https://repositori.irta.cat/handle/20.500.12327/3077>

Carvajal-Millan, e., Arizmendi, v. M., Olavarría, d. F., Baeza, a. M., Chu, a. R., Robinson, k. M., & Mada, a. C. (2023). Microalgas marinas: una fuente de polisacáridos con propiedades bioactivas: microalgas marinas y sus polisacáridos bioactivos. *Invurnus*, 18(1).

<https://doi.org/10.46588/invurnus.v18i1.91>

Carletti, P., Merchant, A., García, A. C., Silva, C. A., eds. (2021). Towards a Functional Characterization of Plant Biostimulants. *Front. Plant Sci*, 12 (677772).

<https://www.frontiersin.org/research-topics/10586/towards-a-functional-characterization-of-plant-biostimulants/overview>

Castillo Sánchez, E. J. (2022). *Importancia de los aminoácidos en la agricultura bajo condiciones de estrés abiótico* {Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB}

<https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11367>

Chemat, Farid., Rombaut, Natacha., Sicaire, Anne-Gaëlle., Meullemiestre, Alice., Fabiano-Tixier, A., & Vian, Maryline. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540-560.

<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>.

Consuegra, V.V. (2014). *Extracción de antioxidantes polifenólicos desde macroalgas *Macrocystis pyrifera* y *ulva rígida** {Tesis de Licenciatura, universidad de Chile facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería química y biotecnología}. Repositorio Institucional UCHILE.

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/132021/Extraccion-de-antioxidantes-polifenolicos-desde-macroalgas.pdf?sequence=4>

Delgado Moreira, K., & Rivadeneira Barcia, C. (2024). Aplicaciones de la biomasa algal como materia prima en la producción de biopolímeros. *ULEAM Bahía Magazine*, 5(8), 115-122.

https://revistas.uleam.edu.ec/index.php/uleam_bahia_magazine/article/view/445

De La Cruz Gutierrez, N. C., & Macetaz Ayala, E. (2022). *Biosorción de cromo total con Rhizoclonium sp. (clorofitas filamentosas) en los efluentes de curtiembres del distrito de San Pedro de Saño, Huancayo, 2021*. {Tesis de licenciatura, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Continental}. Repositorio Institucional – Continental.

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12168>

Didion, Y., Tjalsma, T., Ziran Su., Malankowska, M., Pinelo, M. (2023). What is next? the greener future of solid liquid extraction of biobased compounds: Novel techniques and solvents overpower traditional ones. *Separation and Purification Technology*, 320.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586623010559>

Dobrinčić, A., Balbino, S., Zorić, Z., Pedisić, S., Bursać, D., Garofulić, I., & Dragović-Uzelac, V. (2020). Advanced Technologies for the Extraction of Marine Brown Algal Polysaccharides. *Drugs*. 18(3), 168.

<https://doi.org/10.3390/md18030168>

Escalante, C., & Felicia, Z. (2021). *Efecto de bioestimulantes en el crecimiento vegetativo y colonización de Bemisia tabaci en chile habanero* {Tesis de Maestría, Tecnológico Nacional de México}. Repositorio Institucional del Tecnológico Nacional de México (RI - TecNM).

<https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/4279>

Espinosa-Antón, A., Hernández-Herrera, R., & González González, M. (2020). Bioactive seaweed extracts as biostimulants of growth and protection of plants. *Bioteología Vegetal*, 20(4), 257-282.

<https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/677>

Estupiñán Gutiérrez, C., & Herrera Rodríguez, L. V. (2022). *Extracción de flavonoides a partir de los residuos del tomate de árbol* {Tesis de licenciatura, Fundación Universidad de América}. Lumieres - Repositorio institucional Universidad de América.

<https://hdl.handle.net/20.500.11839/9028>

Falcón, A., González, D, Nápoles, M., Morales, D., Núñez, M., Cartaya, O., Martínez, L., Terry, E., Costales, D., Dell, J., Jerez, E., González, G, & Jiménez, M. (2021). Oligosacarinas como bioestimulantes para la agricultura cubana. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 11(1).

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2304-01062021000100007&lng=es&tlng=es.

Futureco Bioscience. (2024, noviembre,19). *Lo que todo técnico agrícola debe saber: 3 aspectos clave sobre bioestimulantes a base de extractos de algas marinas*.

<https://www.futurecobioscience.com/bioestimulantes-de-extractos-de-algas/>

Sánchez-Camargo, A. P. (2017). Desarrollo de nuevos procesos integrados de extracción para la obtención de compuestos bioactivos {Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias, Departamento de Química-Física Aplicada}. Repositorio Institucional DIGITAL.CSIC

<http://hdl.handle.net/10261/196050>

González, J. J. (2022). *El uso de algas marinas como bioestimulantes* {Tesis de Licenciatura, Universidad de la Laguna}. Repositorio Institucional Universidad de la Laguna Riull.

<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/29095/El%20uso%20de%20algas%20Omarinas%20como%20bioestimulantes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gómez- Pérez, C., Fernández-R, C., Mourelle, M., Legido, J. (2016). Bioactive compounds from seaweed. *Boletín Sociedad Española Hidrología Médica*, 31(1), 186-187.

DOI: 10.23853/bsehm.2017.0272

Hernández-Bernal, A., Gregorio-Jorge, J., & León, P. (2022). El papel de los azúcares como moléculas de señalización en las plantas. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 25, 519.

<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.519>

Lomartire, Silvia., & Gonçalves, Ana. (2022). Novel Technologies for Seaweed Polysaccharides Extraction and Their Use in Food with Therapeutically Applications. *Foods*, 11(17).

<https://doi.org/10.3390/foods11172654>

López-Padrón, I., Martínez-González, L., Pérez-Domínguez, G., Reyes-Guerrero, Y., Núñez-Vázquez, M., & Cabrera-Rodríguez, J. (2020). Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada. *Cultivos Tropicales*, 41(2).

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000200010&lng=es&tlng=es.

López-Padrón, Indira., Martínez-González, Lisbel., Pérez-Domínguez, Geydi., Reyes-Guerrero, Yanelis., Núñez-Vázquez, Miriam., & Cabrera-Rodríguez, Juan A. (2021). Uso de bioestimulantes en el cultivo del garbanzo. *Cultivos Tropicales*, 42(4).

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000400013&lng=es&tlng=pt.

Manzoor, M. F., Afraz, M. T., Yılmaz, B. B., Adil, M., Naeem, M., Goksen, G., & Zeng, X. A. (2024). Recent progress in natural seaweed pigments: Green extraction, health-promoting activities, techno-functional properties and role in intelligent food packaging. *Journal of Agriculture and Food Research*, 100991.

<https://aquahoy.com/algas-marinas-metodos-extraccion-sostenibles-pigmentos-naturales/>

Matos, G.S., Pereira, S.G., Genisheva, Z.A., Gomes, A.M., Teixeira, J.A., & Rocha, C.M. (2021). Advances in Extraction Methods to Recover Added-Value Compounds from Seaweeds: Sustainability and Functionality. *Foods*, 10(3), 516.

<https://doi.org/10.3390/foods10030516>

- Martins-Aline, P., Yokoya-Nair, S., & Colepicolo, P. (2012). Comparison of extraction and transesterification methods on the determination of the fatty acid contents of three Brazilian seaweed species. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, 22(4), 854-860.
<https://www.scielo.br/j/rbfar/a/jsKv9QZrMdJY4scRKDfpXGN/?lang=en>
- Megías, M., Molist, P., & Pombal MA. (2024, mayo 02). *Atlas de histología vegetal y animal*.
<https://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-v/ampliaciones/hormonas vegetales.php>
- Melo Saca, M. J. (2019). *Marcha fitoquímica, contenido de fenoles totales y propiedades antioxidante, anti-elastasa y anti-colagenasa de extractos etanólicos de macroalgas del litoral peruano* {Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de Ciencia}. Repositorio Institucional RIUNALM.
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/4305>
- Meza Aguilar, J. J., & Almeida Veintimilla, A. C. (2024). Efecto de algas marinas como fertilizante para el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L) en Babahoyo, Ecuador. *ECOAgropecuaria. Revista Científica Ecológica Agropecuaria*, 1(2) 6-12.
<https://doi.org/10.53591/recoa.v1i2.320>
- Mughunth, R. J., Velmurugan, S., Mohanalakshmi, M., & Vanitha, K., (2024). A review of seaweed extract's potential as a biostimulant to enhance growth and mitigate stress in horticulture crops. *Scientia Horticulturae*. 334.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113312>.
- Museo de Historia Natural de Concepción. (2022, enero 17). *¿Qué son y cómo se clasifican las algas?*.
<https://www.mhnconcepcion.gob.cl/noticias/que-son-y-como-se-clasifican-las-algas>
- Núñez Moreira, Roberto., Quintana Ricardo, Lisette., Gutiérrez-Cuesta, Richard., Valdés Iglesias, Olga., González García, Kethia L., Hernandez Rivera, Yasnay., Acosta Suarez, Yulexi., & Ortiz Guillarte, Eudalys. (2019). Optimización del proceso de extracción de compuestos fenólicos de la angiosperma marina *Thalassia testudinum*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(2), 109-117.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n2.74552>

Ochoa, A. D. C (2024). *Efectividad nematocida In Vitro del alga marina Lessonia nigrescens sobre el nemátodo Meloidogyne spp. en plantas de Solanum lycopersicum en el distrito de Ica* {Tesis licenciatura, Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” Vicerrectorado de Investigación Facultad de Farmacia y Bioquímica}. Repositorio Institucional UNICA.

<https://repositorio.unica.edu.pe/items/2c579871-18f1-41a3-89ab-cb3798c92375>

Pacheco, A., Choez, E. L., Naranjo-Morán, J., & Santana, P. M. (2024). Macroalgas rojas: una alternativa ecológica para la agricultura sostenible del Ecuador. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 53(2), 143-168.

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

Peso-Echarri, P., Frontela-Saseta, C., González-Bermúdez, C., Ros-Berruezo, G., & Martínez-Graciá, C. (2012). Polisacáridos de algas como ingredientes funcionales en acuicultura marina: alginato, carragenato y ulvano. *Revista de biología marina y oceanografía*, 47(3), 373-381.

<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572012000300001>

Quitério, Eva. , Grosso, Clara., Ferraz, Ricardo., Delerue-Matos, C., & Soares, Cristina. (2022). A Critical Comparison of the Advanced Extraction Techniques Applied to Obtain Health-Promoting Compounds from Seaweeds. *Drugs*. 20(11), 667.

<https://doi.org/10.3390/md20110677>

Quassi de Castro, S., Quassi, S. A., Araldi de Castro, R., Linhares de Castro, R., Torres, L., Silva, R., & Rieger, F. (2024). Combining seaweed extract from *Ascophyllum nodosum* with nutrients enhances stalk yield when applied in the dry season during sugarcane development. *Plant Stress*, 13, 1-12.

<https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100535>.

Rafińska, Katarzyna., Wrona, Olga., Krakowska-Sieprawska, A., Walczak-Skierska, J., Kielbasa, Anna., Rafiński, Zbigniew., Pomastowski, Paweł., Kolankowski, Mateusz., & Buszewski, Bogusław. (2022). Enzyme-assisted extraction of plant material – New functional aspects of the process on an example of *Medicago sativa* L. *Industrial Crops and Products*, 187(B).

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115424>

Sánchez, C.A. (2017). *Desarrollo de nuevas estrategias de extracción para la obtención de compuestos bioactivos* {Tesis doctoral, Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación (CIAL, CSIC-UAM)}. Repositorio Digital. CSIC.

<http://hdl.handle.net/10261/196050>

Sariñana-Aldaco, O., Benavides-Mendoza, A., Juárez-Maldonado, A., Robledo-Olivo, A., Rodríguez-Jasso, R., Preciado-Rangel, P., & González-Morales, S. (2021). Efecto de extractos de *Sargassum* spp. en el crecimiento y antioxidantes de plántulas de tomate. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(2), e2814.

<https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2814>

Silva, S. P. M., Garcete, R. M. D. P., & Trinidad, S. Álvarez. (2022). Extraction of biopigments derived from a batch photobioreactor culture of *Arthrospira platensis*, Gomont 1892 from Paraguay. *South Florida Journal of Development*, 3(2), 2117–2129.

<https://doi.org/10.46932/sfjdv3n2-040>

Shukla-Pushp, S., Mantin- Emily, G., Adil, M., Bajpai, S., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2019). Ascophyllumnodosum-Based Biostimulants: Sustainable Applications in Agriculture for the Stimulation of Plant Growth, Stress Tolerance, and Disease Management. *Frontiers in Plant Science*, 10.

<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2019.00655>

Terry, A., Reyes, Y., Ruiz, P., & Carrillo, Y. (2024). Las algas y sus usos en la agricultura. *INCA*, 45(3), 1-5.

<https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1791/3821>

Thynraj, Antony Roselin., Muthiyal Prabakaran Sudhakar., & Kulanthaiyesu Arunkumar. (2023). Aqueous extraction of red seaweed bioactive compounds and synthesis of silver nanoparticles for agriculture applications. *Journal of Agriculture and Food Research*. 14

<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100769>.

Valverde-Lucio, Y., Moreno-Quinto, J., Quijije-Quiroz, K., Castro-Landín, A., Merchán-García, W., & Gabriel-Ortega, J. (2020). Los bioestimulantes: Una innovación en la agricultura para el cultivo del café (*Coffea arábica* L). *Journal of the Selva Andina Research Society*, 11(1), 18-28.

<https://www.redalyc.org/journal/3613/361362585003/361362585003.pdf>

Valdespino, P. M., Bautista García, A., Pi-Puig, T., Favoretto, F., Espinosa Matías, S., N Holman, H. Y., & Blanco-Jarvio, A. (2022). Micromundos biominerales en las algas rojas. *Revista Digital Universitaria*, 22(6).

<https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2021.22.6.4>

Vargas, J. A. (2022). *Evaluación de bioestimulantes a base de aminoácidos y algas marinas para mejorar la productividad en diferentes cultivares de soya* (Doctoral dissertation, Universidad Agraria del Ecuador).

<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/VARGAS%20JAIME%20JAVIER%20ALEXANDER.pdf>

Xiao-Huang, Chen., Yuan-Yuan, Li., Zhang Hao., Jiu-Ling, Liu., Zhang-Xian, Xie., Lin-Lin., & Da-Zhi, Wang. (2018). Quantitative Proteomics Reveals Common and Specific Responses of a Marine Diatom *Thalassiosira pseudonana* to Different Macronutrient Deficiencies. *Frontiers in Microbiology*, 9.

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02761>

Yadira-Collahuazo, R., & Salomé Araujo, A. (2019). Producción de biofertilizantes a partir de microalgas. *CEDAMAZ*, 10(02), 75-80.

file:///C:/Users/USER/Downloads/Produccion_de_biofertilizantes_a_partir_de_microalgas+%25281%2529.pdf

Yucra- Rojas, M., & Torrez, Erika. (2019). Ventajas y limitaciones de los métodos de extracción del aceite esencial de anís estrellado. *Studocu*, 1-13.

<https://www.studocu.com/bo/document/universidad-cristiana-de-bolivia/quimica-general/articulo-tecnico-metodos-de-extraccion/18121893>

4.2. Anexos

ANEXO A

Figura 1

Clasificación de algas

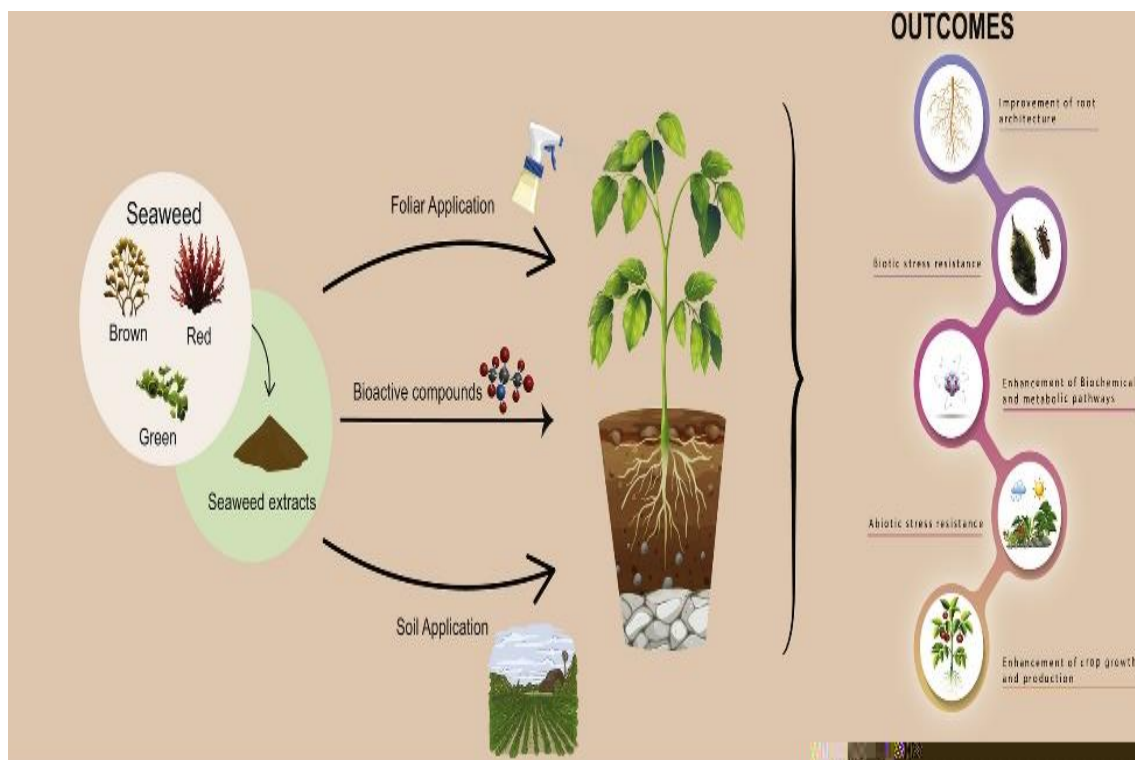


Nota: La figura muestra la clasificación de las macroalgas utilizadas en la agricultura. Fuente: (Delgado et al., 2024).

ANEXO B

Figura 2

Una revisión del potencial del extracto de algas como bioestimulantes para mejorar el crecimiento y mitigar el estrés en cultivos hortícolas.



Nota: La figura muestra la aplicación de extractos de algas mediante aplicaciones foliares e incorporación al suelo. Fuente: (Mughunth et al.,2024).