

Potencial biotecnológico de las macroalgas en la agricultura

Biotechnological potential of the macroalgae in the agriculture

Dagoberto Durán-Hernández^{1*}, María Elena Uribe-Orozco¹,
Luz Elena Mateo-Cid², Daniel González-Mendoza¹

RESUMEN

Las algas son un recurso renovable que se ha aprovechado desde el inicio de la agricultura en zonas cercanas a las costas y su uso está determinado por la disponibilidad de las especies en cada lugar. Actualmente las algas se trituran hasta tener un polvo fino con el cual se preparan extractos que son los más empleados en la agricultura en diferentes países del mundo, debido a la inmediata respuesta que tienen los cultivos a los distintos compuestos como son micro y macronutrientes, reguladores de crecimiento, entre otros. Cualquiera de las tres formas en que se apliquen las algas (húmedas, secas y extractos), mejoran las características del suelo e incrementan la producción de los cultivos. Este trabajo expone las diferentes aplicaciones biotecnológicas de las macroalgas marinas con la finalidad de promover su uso mediante su cultivo, así como aprovechar los arribazones que llegan a las playas para impulsar una agricultura ecológica.

Palabras clave: extractos, harina, materia orgánica, compuestos bioactivos, macroalgas.

ABSTRACT

Algae are a renewable resource that have been used since the beginning of agriculture in areas near the coasts and their use is determined by the availability of the algae species in each place. Currently, algae are ground to a fine powder and extracts are prepared with it, being the most used in agriculture in different countries of the world due to the immediate response that crops have to different compounds such as micro and macronutrients, growth regulators, among others. Any of the three forms in which algae are applied (wet, dried and extracts) improves soil characteristics and increase crops production. This paper exposes the different biotechnological applications of marine macroalgae with the purpose of promoting their use through their cultivation, as well as taking advantage of the algae whashed ashore that reach the beaches to promote ecological agriculture.

Keywords: *extracts, meal, organic matter, bioactive compounds, macroalgae.*

Introducción

Las algas son un grupo polifilético complejo de organismos fotoautótrofos (principalmente) que incluyen miembros procariotas y eucariotas con una amplia distribución mundial y han sido una fuente de alimento tradicional durante miles de años, especialmente en los países asiáticos (Osório *et al.*, 2020). Existen algas microscópicas y macroscópicas de hábitos planctónicos y bentónicos que colonizaron diversos ambientes, dulceacuícolas, terrestres y marinos (Mansillas y Alveal, 2004). Las macroalgas presentan diferentes rasgos morfológicos

como forma, tamaño y color característico de cada grupo que conforman diversos paisajes coloridos en el ambiente acuático. Brindan distintos servicios como productores primarios y proveen alimento y protección a la fauna marina. Son responsables de la fijación del CO₂, mediante la fotosíntesis y la producción de oxígeno (Mansillas y Alveal, 2004). Además se han aprovechado como abono agrícola en distintos países en el mundo. Al incrementar la población se buscó aumentar la producción de alimentos, apoyándose en fertilizantes y productos químicos que finalmente provocaron que los suelos perdieran su fertilidad y se contribuyó al deterioro

¹ Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México.

² Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México, Ciudad de México.

* Autor de correspondencia: ddurn@uabc.edu.mx

ambiental. Por consiguiente, se buscan alternativas para incrementar la producción agrícola de manera sustentable. Actualmente las personas se preocupan por su alimentación y cultivan a pequeña escala verduras en huertos, donde agregan materia orgánica para nutrir el suelo. Las algas son un recurso que se puede aprovechar en la agricultura y de esta manera disminuir el uso de fertilizantes.

Por lo expuesto, la revisión tiene como objetivo mostrar las potenciales aplicaciones biotecnológicas que tienen las macroalgas en la agricultura, con la finalidad de promover el aprovechamiento de las algas y los arribazones que llegan a las playas por la industria agrícola, tomando en consideración las vastas zonas costeras que posee México.

Material y métodos

Se realizó una búsqueda de literatura en las bases de datos como Springer Link, Scopus, ScienceDirect, Scielo y Redalyc. Para el cumplimiento del objetivo planteado en el estudio, se incluyeron los artículos originales de investigación reportados a la fecha seleccionando los más recientes y fueron excluidos los que no tuvieran aplicaciones en plantas, suelo y sobre fitopatógenos.

Resultados y discusión

Distribución y variación de los compuestos de las macroalgas

Las macroalgas se clasifican en tres clases: las Chlorophyta (algas verdes) de color verde debido a la presencia de clorofila a y b como en las plantas superiores; las Phaeophyceae (algas cafés) de color marrón que se atribuye al predominio de xantofilas y fucoxantina que enmascaran otros pigmentos, y las Rhodophyta de color rojo debido principalmente al pigmento ficoeritrina (Abad *et al.*, 2011). La distribución en el ambiente marino depende de las habilidades que tienen las algas para colonizar diferentes niveles verticales en función de su adaptabilidad a gradientes físicos, químicos y biológicos, los cuales de forma continua y combinada influyen en su disposición. Por ello se observan las algas verdes en la zona intermareal rocosa y a mayor profundidad encontramos algas rojas y pardas (Mansillas y Alveal, 2004). Algunos factores que no favorecen a las comunidades de algas

son la falta de nutrientes, las altas temperaturas, salinidad, disponibilidad de sustrato, espacio, luz en la zona de distribución y época del año. Por el contrario, si estas variables son idóneas para las comunidades de algas, se forman extensas praderas en el ambiente marino, por lo cual la composición química de cada especie se modifica constantemente influenciada por los factores bióticos y abióticos en cada lugar.

Cómo se han aprovechado las algas marinas en la agricultura

Las algas marinas son un recurso que se ha aprovechado desde hace muchos años para abonar los suelos dedicados al cultivo, en lugares cercanos a las costas. En la actualidad se elaboran extractos y concentrados de algas que se distribuyen a diferentes lugares alejados de las costas. En el primer caso, las algas frescas o secas (enteras o trituradas) demoran meses para incorporarse total y efectivamente en el suelo, ya que los nutrientes tienen que ser desdoblados por bacterias para que puedan ser utilizados por las plantas, mientras que en los extractos o concentrados los nutrientes están separados y el efecto es inmediato (Stephenson, 1974).

Las algas frescas, deshidratadas, pulverizadas o extractos son productos que se elaboran con distintas especies de algas que habitan determinada zona de interés donde se va a explotar el recurso. Sin embargo, las algas marrones debido al tamaño y la biomasa que producen son las preferidas para su uso por la industria agrícola, que enfrenta retos para satisfacer la demanda de alimento a la población, sin dañar el ambiente.

Actualmente existen estudios que muestran por qué las algas mejoran las características de los suelos agrícolas y la producción de los cultivos. Hashem *et al.* (2019) señalan que la aplicación de algas como biofertilizantes no solo agrega nutrientes al suelo y a la planta para un mejor crecimiento y desarrollo, sino que también provoca cambios significativos en el metabolismo de las plantas para una mejor adaptación a condiciones ambientales adversas. Asimismo, Uribe-Orozco *et al.* (2018) reportan que la harina de *Sargassum vulgare* es una fuerte rica de fibra, proteína, carbohidratos y lípidos que contribuyeron a mejorar las propiedades físicoquímicas del suelo e incrementaron la producción del cultivo de cilantro. Los diferentes

compuestos que contienen las algas contribuyen no solo a mejorar las características del suelo y el desarrollo del cultivo, sino que también se producen plantas sanas y vigorosas.

Métodos de extracción actuales

Las macroalgas son un recurso de gran interés para los científicos debido a los diferentes compuestos y aplicaciones que tienen en la industria. Al respecto, Michalak y Chojnacha (2015) mencionan los distintos métodos biotecnológicos de extracción para obtener compuestos biológicamente activos a partir de la biomasa de algas como son la extracción asistida por enzimas, la asistida por microondas, con líquido presurizado y supercrítico, y la asistida por ultrasonido, lo que permite una mejor recuperación de los compuestos bioactivos sin su degradación. Estos métodos se caracterizan por un mayor rendimiento en la extracción y son más respetuosas con el ambiente que los métodos tradicionales.

Sin embargo, para fines agrícolas son pocos los estudios que se han hecho y la información que existe no está completa. Además los métodos de extracción que se usan en algas rara vez se publican y se mantienen como información patentada (Craigie, 2011).

A continuación se describe el procedimiento común que siguen las investigaciones que reportan trabajos de algas desde su recolección, elaboración de la harina y extractos para el uso en la agricultura. “Las algas recolectadas en las costas son lavadas con agua de la llave o destilada para eliminar arena, sal y organismos adheridos al talo, se secan y se trituran hasta quedar un polvo fino” (Uribe-Orozco *et al.*, 2018). Los solventes para maceración o extracción más utilizados son metanol, acetona, éter dietílico, etanol y agua, entre otros. Al respecto, Michalak y Chojnacka (2015) mencionan que la extracción en agua (autoclave) parece ser la herramienta más rentable y práctica para la liberación de los compuestos de la masa algal.

En ese sentido, también debemos analizar si tenemos compuestos termolábiles que se puedan degradar a altas temperaturas en el proceso de extracción con autoclave y en su defecto emplear métodos de extracción menos agresivos con los compuestos como una extracción con compuestos ácidos o alcalinos, así como el uso de equipos

que puedan obtener los compuestos bioactivos sin degradación como la utilización de los fluidos supercríticos.

Aplicaciones de macroalgas en cultivos agrícolas

A continuación se mencionan algunas investigaciones recientes que aplicaron productos de algas como extractos y harina en diferentes cultivos, reflejando un mejor desarrollo de las plantas. Hashem *et al.* (2019) evaluaron tres macroalgas de grupos diferentes: *Ulva lactuca* Linnaeus (alga verde), *Cystoseira* spp. (alga parda) y *Gelidium crinale* (Hare *ex* Turner) Gaillon (alga roja) como enmienda del suelo para mejorar el crecimiento y rendimiento de *Brassica napus* L. (canola) en condiciones normales y bajo estrés salino (NaCl 75 y 150 mM). Las tres algas aplicadas presentaron efectos positivos tanto en condiciones normales como de estrés salino en comparación con las plantas no tratadas. Sin embargo, el tratamiento más efectivo fue con *U. lactuca* debido a que contenía niveles significativamente altos de carbohidratos totales, glicerol, prolina, actividad antioxidante, y fitohormonas como AIA (ácido indol acético), zeatina y bencil adenina, en comparación con las otras algas examinadas. Los mayores niveles de AIB (ácido indol butírico) y ABA (ácido abscísico) se detectaron en *G. crinale*, mientras que GA₃ (ácido giberélico) y AJ (ácido jasmónico) se encontraron en *Cystoseira* spp.

Por otra parte, Mahmoud *et al.* (2015) trabajaron con tres algas rojas: *Laurencia obtusa* (Hudson) J.V. Lamouroux, *Corallina elongata* J. Ellis y Solander, *Jania rubens* (Linnaeus) J.V. Lamouroux y sus combinaciones en un estudio sobre el contenido de fitoquímicos en las plantas de maíz (*Zea mays* L.). *Jania rubens* presentó los mejores resultados en contenido de nitrógeno, proteínas y lípidos, mientras que *Corallina elongata* aumentó el contenido de polifenoles, antioxidantes de la raíz y el contenido de ácido tánico de toda la planta. *Jania rubens* + *Corallina elongata* incrementó el contenido de azúcar y antioxidantes de los brotes.

Uribe-Orozco *et al.* (2018) analizaron el efecto del alga parda *Sargassum vulgare* C. Agardh en suelo y en el crecimiento de plantas de cilantro, lo cual se evaluó con la longitud y biomasa seca total a los 90 días. Se observó que la aplicación de 6 y 9 g de harina aportó más nutrientes al suelo

y en consecuencia se desarrolló mejor la planta. Además se determinaron cambios en el pH y la CE (conductividad eléctrica) a los 35 días del cultivo.

Las algas marinas también se usan para elaborar composta con diferentes desechos orgánicos. Lacatusu *et al.* (2017) evaluaron la composta con tres desechos orgánicos: 50% de algas marinas de las especies *Cladophora* sp y *Ulva lactuca* Linnaeus, cantidades iguales de 25% de estiércol de granja y lodo residual. El suelo presentó condiciones favorables para el cultivo y desarrollo de las plantas de maíz y al final del experimento el suelo tratado con composta contenía más nutrientes, mayor humedad, mejoró la circulación de aire y se propició un ambiente para la actividad de microorganismos comparado con el testigo e incluso con el tratamiento de fertilizante mineral. Los autores concluyen que el compostaje es una tecnología útil de bajo costo que permite transformar los desechos orgánicos en un producto estable como el fertilizante orgánico.

Adicionalmente se consultaron otros estudios donde se evaluó la composta y extractos de algas. Michalak *et al.* (2016) analizaron compost y extracto de *Fucus* sp en pruebas de germinación en *Lepidium sativum* L. (berro). La longitud de las plantas fertilizadas con compost y extracto fue casi dos veces mayor que en el grupo control y la biomasa seca de las plantas fue para compost 0,059 g, extracto 0,074 g y control 0,054 g. Estos resultados fueron confirmados por Ahmed y Shalaby (2012), quienes demostraron que los extractos preparados con algas rojas *Asparagopsis* spp., *Gelidium pectinatum* (Montagne) Montagne y el alga verde *Enteromorpha intestinalis* (Linnaeus) Ness influyeron en dichos parámetros de crecimiento de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) como altura de planta, número de hojas, peso fresco y peso seco de la planta y área de la hoja, en mayor medida en comparación con la aplicación de compost (abono orgánico).

En la investigación de Michalak y Chojnacka (2015) se menciona que las algas marinas son utilizadas como fertilizantes y compuestos bioestimulantes que se obtienen mediante procesos de extracción en agua (autoclave) donde se liberan los diferentes compuestos de la biomasa del alga. Estos son aplicados al suelo, a las semillas antes de sembrarse, a la parte foliar de las plantas cultivadas, incrementando la producción del cultivo y mejorando las características del suelo.

Asimismo, Blunden *et al.* (2010) evaluaron los extractos metanólicos de *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis, *Laminaria digitata* (Hudson) J.V. Lamouroux, *Laminaria hyperborea* (Gennerus) Foslie y *Fucus serratus* L., con las que se produce biofertilizante debido a su alto contenido de betainas, un compuesto osmolítico orgánico que puede desempeñar un papel crucial en la protección efectiva contra las sales, la sequía y el estrés por temperatura extrema.

Actividad sobre diferentes patógenos de interés en la agricultura

Uno de los grandes problemas que afectan a los cultivos a nivel mundial es la infección por fitopatógenos como hongos, bacterias, nematodos y virus, los cuales provocan pérdidas parciales o totales, por lo que se recurre al uso de productos químicos para su control. Los estudios realizados actualmente con diferentes especies de algas reportan efectos prometedores para su uso y control sobre diversos microorganismos de interés agrícola. En este sentido, Ibraheem *et al.* (2017) señalan que la aplicación *in vivo* de *Padina gymnospora* (Kützinger) Sonder, *Sargassum latifolium* (Turner) C. Agardh y *Hydroclathrus clathratus* (C. Agardh) M. Howe en polvo, como enmiendas del suelo, disminuyó el porcentaje de enfermedad de la pudrición de la raíz causada por *Fusarium solani* en *Solanum melongena* L. (berenjena). Además con *P. gymnospora* mejoró el crecimiento de la berenjena en los suelos infectados por *F. solani*. Asimismo, Corato *et al.* (2017) evaluaron la actividad *in vivo* e *in vitro* con extractos de dos algas marrones (*Laminaria digitata* y *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar) y tres algas rojas (*Porphyra umbilicalis* Kützinger, *Eucheuma denticulatum* y *Gelidium pusillum*) contra tres patógenos postcosecha (*Botrytis cinerea*, *Monilinia laxa* y *Penicillium digitatum*). Destacaron la actividad antifúngica de los extractos de *L. digitata*, *U. pinnatifida* y *P. umbilicalis* contra *B. cinerea*, *M. laxa* y *P. digitatum* en fresas, melocotones y limones. Los extractos de *L. digitata*, *U. pinnatifida* inhibieron completamente el crecimiento de micelio y germinación conidial de *B. cinerea*, *M. laxa*, y redujeron fuertemente a *P. digitatum*, mientras que el extracto *P. umbilicalis* inhibió considerablemente el crecimiento de micelio y conidios en todos los hongos. Por otra parte,

los extractos de *E. denticulatum* y *G. pusillum* mostraron menor inhibición. En todos los casos se observó un efecto de inhibición a la dosis más alta probada (10,20 y 30 g/L).

En otro estudio, Jayaraj *et al.* (2008) aplicaron el extracto del alga *Ascophyllum nodosum* a plantas de zanahoria (*Daucus carota* L.) en forma de rocío en la parte foliar, lo cual mejoró la defensa de las plantas al presentar mayor actividad de las enzimas que están relacionadas con la defensa como la quitinasa, B-1, 3-glucanasa, peroxidasa, polifenol oxidasa y fenilalanina amoniaco liasa. Las plantas de zanahoria presentaron menor enfermedad por *Alternaria radicina* y *Botrytis cinerea* en comparación con el ácido salicílico y el control. Además las plantas mejoraron sus propiedades antioxidantes y presentaron más tolerancia al estrés biótico y abiótico. También Ammar *et al.* (2017) utilizaron extracto acuoso y metanólico de *Sargassum vulgare*, y observaron que el extracto metanólico mostró un gran potencial antifúngico al inhibir el crecimiento del micelio del patógeno *Pythium aphanidermatum* en casi un 51%, reduciendo la enfermedad observada en los tubérculos de papa cv. Spunta por más del 82% sobre los controles no tratados. Además identificaron y cuantificaron un total de 34 compuestos en el extracto metanólico e indicaron que los componentes bioactivos de los ácidos fenólicos y flavonoides podrían actuar como antifúngicos contra *Pythium aphanidermatum*.

Por otra parte, Esserti *et al.* (2017) aplicaron en forma de spray el extracto acuoso de *Cystoseira myriophylloides* Sauvageau, *Laminaria digitata* (Hudson) J.V. Lamouroux y *Fucus spiralis* L. a las plantas de tomate, lo que redujo significativamente la enfermedad de agalla de corona causada por el patógeno bacteriano *Agrobacterium tumefaciens*. Las plantas presentaron un incremento en las enzimas de defensa polifenol oxidasa y peroxidasa, en comparación con las plantas control.

El estudio de Sultana *et al.* (2011) indica que la incorporación de polvo seco de las macroalgas *Spatoglossum variabile* Figari y De Notaris, *Melanothamnus afaqhusainii* M. Shameel y *Halimeda tuna* (J.Ellis y Solander) J.V. Lamouroux presentó efectos supresores contra *Meloidoyne incognita* en comparación con el nematocida químico (carbofuran) tanto en condiciones de invernadero como de campo.

Por otro lado, los estudios con nanopartículas de algas marinas son escasos, tanto para hongos

como para bacterias. González-Mendoza *et al.* (2018) evaluaron la actividad antimicrobiana de las nanopartículas de plata (AgNPs) de *Sargassum vulgare* sobre *Bacillus cereus*, *Fusarium solani* y *Alternaria alternata*. Las AgNPs mostraron un antagonismo de amplio espectro ($p \leq 0,05$) contra *F. solani* (70,9%) y *A. alternata*. (55,05%) después de nueve días de incubación. También se encontró que a diferentes concentraciones de AgNPs (25, 50, 75 y 100 mg/mL) presentaron actividad antibacteriana frente a *B. cereus* en comparación con el control después de 24 h de incubación.

En otro estudio, Sharma *et al.* (2014) señalan que la utilización de bioestimulantes de algas en los cultivos de plantas puede generar numerosos beneficios con efectos reportados que incluyen un mejor enraizamiento, mayores rendimientos de cultivos y frutos, mayor actividad fotosintética, resistencia a hongos, bacterias y virus. Asimismo, destacan que las algas influyen en la respiración, fotosíntesis, la síntesis de ácidos nucleicos y la captación de iones (Craigie, 2011). Los beneficios de las algas marinas (harina o extractos) en la agricultura han despertado el interés no solo de los investigadores, sino también de los agricultores que buscan alternativas para disminuir el uso de productos químicos que han afectado la fertilidad de los suelos y tener una agricultura sustentable empleando recursos biológicos.

Arribazón de macroalgas en el territorio mexicano y su uso en la agricultura

En este artículo de revisión se consultaron diferentes investigaciones que evaluaron el efecto que tienen las algas sobre el suelo, cultivos de plantas y patógenos de interés agrícola. Con base en los resultados encontrados, sugerimos el aprovechamiento de las macroalgas que arriban a las playas mexicanas y en otros países, para su utilización en la producción agrícola así como de su potencial biotecnológico para generar productos orgánicos que coadyuven en la disminución de agroquímicos contaminantes.

Los arribazones de algas se asocian a tormentas o corrientes oceánicas que generan desprendimientos masivos en las comunidades bentónicas de los fondos marinos (Kirkman y Kendrick, 1997). Estos eventos se presentan en distintos países del mundo que tienen costas en su territorio y que cuentan con las condiciones idóneas para el crecimiento de

algas formando extensas comunidades en las zonas costeras. México cuenta con un extenso litoral en la región del Pacífico y el Atlántico con una amplia distribución de algas de los grupos Chlorophyta, Phaeophyceae y Rhodophyta. En La Península de Baja California predominan las algas pardas que destacan por su gran tamaño como *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C. Agardh, *Egregia menziesii* (Turner) Areschoug, *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt y *Stephanocystis osmundacea* (Turner) Trevisan. Algunas de estas especies son cosechadas por empresas para la extracción de alginatos y extractos que aportan diferentes nutrientes y compuestos bioactivos que ayudan al desarrollo de las plantas. De acuerdo a los estudios reportados de la aplicación de alga seca o como harina, estas algas podrían emplearse de ambas formas en la zona del Valle de Mexicali, con la finalidad de mejorar los suelos que son altamente salinos y pobres en nutrientes.

Por otra parte, en la Península de Yucatán arriban en su mayoría algas pardas que provienen principalmente de la comunidad del mar de los Sargazos como *Sargassum fluitans* Børgesen, *Sargassum natans* Linnaeus y *S. hystrix* var. *buxifolium* Chauvin (Dreckmann y Sentfés, 2013). Dichas especies cubren las playas con gran cantidad de biomasa dándoles una tonalidad marrón característica de estas algas y por su rápida descomposición se liberan olores desagradables que afectan a los turistas que llegan allí a descansar y disfrutar. El sector turístico las considera desechos que arroja el mar y constantemente se invierten recursos financieros para su remoción de las costas (Dreckmann y Sentfés, 2013). Actualmente la biomasa de los arribazones de algas se ha incrementado en las playas y los empresarios solicitan que se detenga la llegada de estas especies. Al respecto, Dreckmann y Sentfés (2013) consideran que el sargazo constituye una biomasa cautiva en el mar de los Sargazos, el cual se debe aprovechar e interceptar antes de que arribe a las costas mexicanas debido a que al estar cerca las algas pueden ser dispersadas por las contracorrientes costeras en todo el litoral de Quintana Roo. Por lo tanto, si en un futuro cercano invierten en conjunto gobierno y empresarios, y además los investigadores de las universidades del país brindan asesoramiento sobre cómo aprovechar este recurso marino y que se coseche antes de llegar a las costas turísticas o se recolecte en

cuanto arribe, se podrá utilizar para procesarlo y transformarlo. Así se evitará su descomposición en las costas, lo cual genera contaminación visual y ambiental.

Es evidente que las algas tienen una diversidad de aplicaciones en las industrias como la alimentaria, farmacéutica, agrícola y biotecnológica. Actualmente la extracción de alginatos despierta interés mundial debido a que es un componente indispensable por la capacidad que tiene de retener agua, y como espesante, emulsionante y estabilizante. Por estas propiedades son utilizados en la elaboración de productos como mermeladas, helados, cerveza, confitería, y para fabricar cremas, jabones. También se emplean para hacer microcápsulas de alginato que sirven de recubrimiento para contener diferentes compuestos como suplementos alimenticios y medicamentos. En odontología el alginato es usado como material de impresiones dentales, mientras que en biotecnología enfocada a la agricultura, anteriormente se mencionaron las aplicaciones recientes. Sin embargo, las algas utilizadas en estos estudios provienen en su mayoría de poblaciones naturales y la sobreexplotación podría disminuir la biomasa o llevar a su pérdida. Michalak *et al.* (2016) sugieren aprovechar la biomasa de algas que llega a las playas y zonas costeras como materia prima para composta y extractos para la agricultura y horticultura. De esta manera se podría eliminar la biomasa de los arribazones de algas y reducir el uso de fertilizantes químicos en la agronomía.

Actualmente no se cuenta con estudios completos de la composición química de las algas que provienen del mar de los Sargazos, por lo que es necesario hacerlos antes de usar este recurso marino. Las algas acumulan metales tóxicos que se encuentran en el ambiente marino y que proceden principalmente de las diferentes actividades antropogénicas, por lo tanto, la composición química de las especies va a cambiar de acuerdo a las condiciones bióticas y abióticas de cada lugar.

En este contexto, Michalak *et al.* (2016) demostraron que con la tecnología de compostaje se produjo compost y extracto de la biomasa del alga (*Fucus* sp), el cual se puede usar como enmienda orgánica y bioestimulante para sistemas agrícolas. Además mencionan que son de buena calidad en términos de contenido de nutrientes y bajo contenido de metales tóxicos como Cd, Pb y As. Por otra parte, uno de los inconvenientes de usar algas marinas

en los suelos de cultivo es el alto contenido de sodio que tienen. En consecuencia, se propone no descartar el aprovechamiento de este recurso por empresas de la región que cuenten con el capital para establecerse cerca de playas no turísticas (sin contaminar los suelos), donde las algas se laven con agua de lluvia con la finalidad de eliminar sales y extenderlas para su secado de manera directa al sol y posteriormente usarlas como materia prima para elaborar harina, extractos y compost para los suelos dedicados a la agricultura.

Al respecto, Sahena *et al.* (2009) demostraron que mediante el método de extracción con fluidos supercríticos se obtuvo extracto de algas completamente exento de metales pesados así como de sales inorgánicas, ya que este tipo de compuestos no son extraíbles con dicho sistema aun estando presentes en la materia prima. Además, el extracto obtenido es un concentrado de compuestos biológicamente activos en un ambiente libre de solventes y el producto final es seguro para las plantas, los animales y los seres humanos (Michalak y Chojnacha, 2015).

Por otra parte, en la investigación reciente de Ahmed *et al.* (2020) se evaluó la biomasa seca de *Ulva fasciata* y *Sargassum lacerifolium* como remediadores de metales pesados en el suelo y el crecimiento de rábano (*Raphanus sativus* L.). El tratamiento con la mezcla de las dos algas redujo el contenido de Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Cr, Fe y Mn a los límites tolerables en el suelo. Además promovió el crecimiento de las plantas de rábano cultivado y mejoró el porcentaje de germinación y los parámetros de crecimiento morfológico y bioquímico en comparación con las plantas de control. Las algas desempeñaron un doble papel como biorremediadores de metales pesados del suelo y como biofertilizantes de plantas, lo cual se atribuye a los diferentes compuestos y hormonas como giberelinas, auxinas y citoquininas presentes en ellas. La remediación lograda del suelo por las

algas secas podría explicarse por su gran capacidad de biosorción metálica debido a la existencia de grupos funcionales activos en sus superficies de pared celular.

Conclusión

La información obtenida de las investigaciones consultadas indica que las macroalgas son una fuente de macro y microelementos, compuestos bioactivos, reguladores de crecimiento, materia orgánica, entre otros. Además de su gran valor nutricional, estimulan la defensa de las plantas ante patógenos y mejoran las características del suelo e incrementan la producción agrícola de manera sustentable. Los arribazones de algas son un recurso con numerosas posibilidades para su aprovechamiento como materia prima para elaborar harina, extractos, composta y productos biotecnológicos, con la finalidad de reducir el uso de químicos en los suelos. Por consiguiente, es trascendental continuar los ensayos con especies de algas que no se han estudiado, para conocer los compuestos que contienen y el mecanismo de acción en las plantas, en los suelos y la actividad sobre patógenos de importancia agronómica, tanto en condiciones de campo como invernadero. De esta manera se podrá determinar la concentración adecuada con la cual se obtengan resultados óptimos de cada especie de alga marina mediante la elaboración de productos biotecnológicos que no afecten el ambiente.

Agradecimientos

A la doctora Ángela Catalina Mendoza González del Laboratorio de Ficología de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional (ENCB-IPN), Ciudad de México, por su valiosa contribución en la revisión de la nomenclatura de las algas.

Literatura citada

- Abad, M.; Bedoya, L.; Bermejo, P.
2011. Marine Compounds and their Antimicrobial Activities. Science against microbial pathogens: Communicating current research and technological advances. In: A. Méndez-Vilas (Ed.). pp. 1293-1306.
- Ahmed Y.; Shalaby, E.
2012. Effect of different seaweed extracts and compost on vegetative growth, yield and fruit quality of cucumber. *J. Hort. Sci. Orn. Plants.*, 4(3): 235-240
- Ahmed, D.; Gheda, S.; Ismail, G.
2021. Efficacy of two seaweeds dry mass in bioremediation of heavy metal polluted soil and growth of radish (*Raphanus sativus* L.) plant. *Environ Sci Pollut Res*, 28: 12831-12846.
- Ammar, N.; Jabnoun-Khiareddine, H.; Mejdoub-Trabelsibi, B.; Nefzi, A.; Mahjoub, M.; Daami-Remadi, M.
2017. Pythium leak control in potato using aqueous and organic extracts from the brown alga *Sargassum vulgare* (C. Agardh, 1820). *Posthavest Biol. Technol.*, 130: 81-93.

- Blunden, G.; Morse, P.F.; Mathe, I.; Hohmann, J.; Critchley, A.T.; Morrell, S.
2010. Betaine yields from marine algal species utilized in the preparation of seaweed extracts used in agriculture. *Nat. Prod. Commun.*, 5: 581-585.
- Craigie, J.
2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *J. Appl. Phycol.*, 23: 371-393.
- de Corato, U.; Salimbeni, R.; de Pretis, A.; Avella, N.; Patrino, G.
2017. Antifungal activity of crude extracts from brown and red seaweeds by a supercritical carbon dioxide technique against fruit postharvest fungal diseases. *Postharvest Biol. Technol.*, 131: 16-30.
- Dreckmann, K.; Sentfies, A.
2013. Los arribazones de algas marinas en el Caribe mexicano: Evento biológico natural o basura de algas en las playas. CONABIO. *Biodiversitas*, 107: 7-11.
- Esserti, S.; Smaili, A.; Rifai, L.; Koussa, T.; Makroum, K.; Belfaiza, M.; Kabil, E.; Faize, L.; Burgos, L.; Albuquerque, N.; Faize, M.
2017. Protective effect of three brown seaweed extracts against fungal and bacterial diseases of tomato. *J. Appl. Phycol.*, 29: 1081-1093.
- González-Mendoza, D.; Valdez-Salas, B.; Carrillo-Beltrán, M.; Castro-López, S.; Méndez-Trujillo, V.; Gutiérrez-Miceli, F.; Rodríguez-Hernández, L.; Durán-Hernández, D.; Arce-Vázquez, N.
2018. Antimicrobial effects of silver-phyconanoparticles from *Sargassum vulgare* against spoilage of fresh vegetables caused by *Bacillus cereus*, *Fusarium solani* and *Alternaria alternata*. *Int. J. Agric. Biol.*, 20: 1230-1234.
- Hashem, H.; Mansour, H.; El-Khawas, S.; Hassanein, R.
2019. The Potentiality of Marine Macro-Algae as Bio-Fertilizers to Improve the Productivity and Salt Stress Tolerance of Canola (*Brassica napus* L.) Plants. *Agronomy* 9: 146. DOI: 10.3390/agronomy9030146
- Ibraheem, B.; Hamed, S.; Abdelrhman, A.; Farag, F.; Abdel-Raouf, N.
2017. Antimicrobial activities of some brown macroalgae against some soil borne plant pathogens and in vivo management of *Solanum melongena* root diseases. *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, 11: 157-168.
- Jayaraj, J.; Wan, M.; Rahman, Z.
2008. Seaweed extract reduces foliar fungal diseases on carrot. *Crop Prot.*, 27: 1360-1366.
- Kirkman, H.; Kendrick, G.A.
1997. Ecological significance and commercial harvesting of drifting and beach-cast macro-algae and seagrasses in Australia: a review. *J. Appl. Phycol.*, 9: 311-326.
- Lacatusu, A.; Burtan, L.; Coronado, M.; Preda, C.; Lacatusu, R.
2017. Assessment of soil quality under different agricultural systems. *Int. J. Agric. Sci.*, 2: 51-58.
- Mahmoud A. Al-Saman; Farfour, S.; Hamouda, R.
2015. Effects of some red Algae on antioxidant and phytochemical contents of Maize (*Zea mays* L.) plants. *Int. J. Agric. Sci.*, 5: 393-398.
- Mansillas, A.; Alveal, K.
2004. Generalidades sobre las macroalgas. En: Camilo W.I. (Ed). *Biología Marina y Oceanografía: Conceptos y procesos*. Tomo 1. Trama Impresores S.A., Talcahuano. pp. 349-359.
- Michalak, I.; Tuhy, L.; Chojnacka, K.
2016. Co-Composting of Algae and Effect of the Compost on Germination and Growth of *Lepidium sativum*. *Pol. J. Environ. Stud.*, 25(3): 1-9.
- Michalak, I.; Chojnacka, K.
2015. Algae as production systems of bioactive compounds. *Eng Life Sci.*, 15: 160-176.
- Osório, C.; Machado, S.; Peixoto, J.; Bessada, S.; Pimentel, F.B.; C. Alves, R.; Oliveira, M.B.P.P.
2020. Pigments Content (Chlorophylls, Fucoxanthin and Phycobiliproteins) of Different Commercial Dried Algae. *Separations*, 7(2), 33. DOI: 10.3390/separations7020033
- Sahena, F.; Zaidul, I.; Jinap, S.; Karim, A.
2009. Application of supercritical CO₂ in lipid extraction-A review. *J. Food Eng.*, 95: 240-253
- Sharma, H.; Fleming, C.; Selby, C.; Rao, J.; Martin, T.
2014. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *J. Appl. Phycol.*, 26: 465-490.
- Stephenson, W.
1974. *Seaweed in Agriculture and Horticulture*. Bargyla and Glyver Rateaver, California, US. 241 p.
- Sultana, V.; Baloch, G.; Ara, J.; Ehteshamul-Haque, S.; Tariq, R.; Athar, M.
2011. Seaweeds as an alternative to chemical pesticides for the management of root diseases of sunflower and tomato. *J. Appl. Bot. Food Qual.*, 84: 162-168.
- Uribe-Orozco, M.; Mateo-Cid, L.; Mendoza-González, A.; Amora-Lazcano, E.; González-Mendoza, D. y Durán-Hernández, D.
2018. Efecto del alga marina *Sargassum vulgare* C. Agardh en suelo y el desarrollo de plantas de cilantro. *IDESIA*, Chile. 36(3): 69-76.