

Revisión bibliográfica

Las algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos

Yanebis Pérez-Madruga^{1*} 

Indira López-Padrón¹ 

Yanelis Reyes-Guerrero¹ 

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

*Autor para correspondencia: yanebis@inca.edu.cu

RESUMEN

Las algas han alcanzado un elevado interés por sus aplicaciones en la industria farmacéutica, en la alimentación de peces, animales y el hombre, así como en la agricultura. Tienen potencialidad como bioestimulantes, biofertilizantes y se pueden aplicar de diferentes formas, foliar, enmienda de suelo e imbibición de semillas. Los bioproductos de algas contienen diferentes metabolitos, minerales y fitohormonas que estimulan el crecimiento y rendimiento de las plantas, mejoran las propiedades biológicas del suelo y aumentan la productividad en condiciones de estrés abiótico y biótico. Se pueden utilizar en la producción de diferentes cultivos como una alternativa económica lo que permite lograr una agricultura sustentable. Al utilizarlas disminuye el uso de productos químicos y protege el medio ambiente. Esta revisión tiene como objetivo investigar el papel potencial que tienen las macro y microalgas en el rendimiento y protección de diferentes cultivos.

Palabras clave: microalgas, biofertilizantes, bioestimulantes, protección

Recibido: 09/12/2019

Aceptado: 26/02/2020

INTRODUCCIÓN

Con el propósito de conservar el agroecosistema y teniendo en cuenta la creciente demanda de alimentos, es necesario buscar nuevas tecnologías para incrementar la producción y calidad de los cultivos, así como ofrecer productos libres de residuos tóxicos a los consumidores^(1,2). Los gobiernos hoy en día, reinstauran la idea del reciclaje eficiente de los residuos y el uso de productos biológicos como los bioestimulantes y biofertilizantes, para reducir al mínimo el empleo de productos químicos que ocasionan toxicidad a la salud humana y al agroecosistema. Estos bioproductos contienen principios activos, los cuales actúan sobre la fisiología de las plantas, incrementando el crecimiento y desarrollo vegetal, así como el rendimiento y calidad de las cosechas^(1,3).

Entre los bioproductos que se han evaluado se encuentran las algas y productos derivados que han sido utilizados como alimento humano, animal, forraje, en la producción de papel y en otras industrias^(4,5). En la agricultura se han utilizado como biofertilizantes y bioestimulantes en el mundo entero, para aumentar el crecimiento y el rendimiento de las plantas^(2,4,6-10). Existen aproximadamente 9,000 especies de macroalgas clasificadas en tres grupos principales en función de su pigmentación, Phaeophyta, Rhodophyta y Chlorophyta o las algas pardas, rojas y verdes, respectivamente^(4,6). Además, hay más de 50,000 tipos diferentes de especies de microalgas presentes en océanos y agua dulce (lagos, estanques y ríos)^(2,11), entre estas especies, solo 30,000 han sido estudiadas^(3,11).

Las macroalgas más comúnmente utilizadas en la agricultura son las pardas, entre ellas *Ascophyllum nodosum* (L.)^(6,12,13). Además de *A. nodosum*, otras algas pardas como *Fucus* spp., *Laminaria* spp., *Sargassum* spp., *Turbinaria* spp. y *Ecklonia maxima* (Osbeck) Papenfuss se utilizan como biofertilizantes^(6,12). También se han utilizado como bioestimulantes del crecimiento vegetal algas rojas como *Corralina mediterranea* Areschoug, *Jania rubens* (L.) J.V.Lamouroux, *Pterocladia pinnata* (Hudson) Papenfuss y algas verdes como *Cladophora dalmatica* Kützinger, *Enteromorpha intestinalis* (L.) Nees, *Ulva lactuca* L.^(8,10,12). *Isochrysis* spp., *Chaetoceros* spp., *Chlorella* spp., *Arthrospira* spp. y *Dunaliella* spp., son especies de microalgas que se encuentran disponibles comercialmente y han sido utilizadas en la cadena de alimentos para ecosistemas marinos, en la industria farmacéutica, el consumo humano^(2,11) y en la agricultura⁽²⁾. La cyanobacteria más conocida es *Arthrospira platensis* Gomont (spirulina) y se ha utilizado para la producción de biocombustibles, alimentos para animales y fertilizantes agrícolas⁽¹⁴⁾.

Es posible combinar los extractos de algas con fertilizantes inorgánicos ^(2,15,16) y orgánicos ^(2,15,17,18) y eso podría permitir alcanzar una productividad agrícola sostenible. Se pueden aplicar de diferentes formas: aplicaciones foliares ⁽²⁾, enmiendas del suelo ^(4,19) y sobre semillas ^(2,3,20), mostrando una amplia gama de respuestas positivas que incluyen aumento de la germinación, del desarrollo del sistema radicular, el rendimiento mejorado de los cultivos, mayor contenido de clorofila y área foliar, aumento de la calidad de la fruta y vigor, resistencia elevada al estrés biótico y abiótico y aumento de la vida útil de los productos de poscosecha ^(2,3,6,8,9,15,16,19-26). Se sugiere que la obtención de estos efectos beneficiosos podría deberse a los compuestos activos, como las hormonas de crecimiento que se producen naturalmente en las algas, como las auxinas, citoquininas, betaínas, giberelinas u otros componentes de bajo peso ^(4,6,8,9,12,27-29). Las algas además pueden servir como una fuente importante de inductores de defensa de plantas ya que contienen una serie de sustancias que permiten realizar esta actividad ^(3,4,6).

Se han utilizado extractos de algas con resultados significativos en plantas cultivadas en condiciones de invernadero y de campo tales como, bulbos (papa, zanahoria, remolacha, boniato), frutales (limón, plátano, melocotón, peral), hortalizas (tomate, pimiento, salmuera), granos (arroz, maíz), leguminosas (guisante, granos negros, granos verdes, frijol común) y flores (orquídea, rosa, flor del sol) o en condiciones de cultivo *in vitro* (*Arabidopsis*, tomate, berenjena, mijo) ⁽⁸⁾. Por estas razones, el objetivo de esta revisión es investigar el papel potencial que tienen las macro y microalgas en el rendimiento y protección de diferentes cultivos.

1. Incremento en el rendimiento del cultivo con el uso de microalgas

Numerosos estudios indican que las microalgas contienen algunas sustancias que promueven el crecimiento de las plantas, como las auxinas, citoquininas, betaínas, aminoácidos, vitaminas y poliaminas ^(27,28). Proveen recursos promisorios como ácidos grasos, esteroides, carotenoides, polisacáridos, lectinas, aminoácidos tipo micosporina, compuestos halogenados, policétidos, toxinas, agar agar, ácido algínico y carragenina ⁽²⁾. Además, pueden contener cantidades importantes de giberelinas y brasinoesteroides ⁽²⁾. Los aminoácidos contenidos en las microalgas son un bioestimulante con efectos positivos sobre el crecimiento

de las plantas y el rendimiento de los cultivos. Estos aminoácidos pueden contribuir a mitigar las lesiones causadas por el estrés abiótico ⁽²⁾.

Las microalgas además pueden estar compuestas por micro y macronutrientes, especialmente nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) por lo que podría considerarse como un fertilizante orgánico de liberación lenta ⁽¹⁵⁾. Al ser estudiada la biomasa seca *Arthrospira* spp., mostró que contiene 6,70; 2,47 y 1,14 % N, P y K, respectivamente, mientras que el contenido de calcio (Ca) es relativamente más bajo que el de otros minerales ⁽²⁾. Algunas de las especies de cianobacterias pueden fijar el nitrógeno atmosférico dentro de sus células ⁽³⁰⁾. La mayoría de los estudios se centraron en el uso de estas cianobacterias en campos de arroz para hacer el nitrógeno atmosférico disponible para la planta ^(31,32).

1.1 Las microalgas en la germinación de semillas

Para lograr posturas saludables se debe realizar labores cuidadosas en la etapa de germinación para poder tener el crecimiento y rendimiento esperados de los cultivos. Se mostró que los extractos de microalgas aumentan la germinación de las semillas ⁽³⁾, el desarrollo de las raíces ⁽²⁴⁾ y los brotes ⁽²⁾. La aplicación de suspensión de *Chlorella* sp. mejoró la tasa de germinación de las semillas de trigo, cebada y maíz ^(33,34). En suelos que contenía diferentes concentraciones de biofertilizante a base de *Chlorella vulgaris* Beijerinck germinaron semillas de lechuga ⁽²⁾. Extractos de la biomasa de spirulina tuvieron efectos beneficiosos sobre la germinación de semillas de berros y trigo de invierno ^(35,36). La aplicación de la biomasa y extracto acuoso de *Acutodesmus dimorphus* (Turpin) P.M.Tsarenko sobre semillas permitieron la germinación de las mismas dos días más rápido que en experimento control. Las semillas tratadas con *A. dimorphus* tuvieron mayores raíces laterales lo que podría mejorar la absorción de agua y nutrientes de las plantas y aumentar su crecimiento ⁽³⁷⁾. Hidrolizados de *Dunaliella salina* (Dunal) Teodoresco estimularon la germinación de semillas de trigo y el crecimiento de posturas en suelos salinos ⁽³⁸⁾. Se informó que polisacáridos intracelulares de dos microalgas (*Dunaliella salina* y *Phaeodactylum tricorutum* Bohlin) aumentan la tasa de germinación de semillas de pimienta en condiciones salinas ⁽²³⁾.

1.2 Mejoramiento de las características del suelo para los cultivos

Las microalgas se pueden inocular en el suelo, esto podría ser una fuente importante de carbono orgánico y mejorar la calidad del mismo ^(3,39,40). Bajo condiciones específicas de crecimiento, algunas microalgas y cianobacterias producen y secretan sustancias poliméricas extracelulares (EPS) ⁽⁴¹⁻⁴³⁾. Cuando las condiciones de crecimiento no son favorables, las algas producen estos compuestos para proteger sus células de las condiciones de estrés ⁽⁴³⁾. La deposición de EPS en el suelo es uno de los mecanismos para aumentar el contenido orgánico del mismo ⁽³⁾ y se identificó como un componente principal para su estabilización ⁽⁴⁴⁾. Además, se demostró que las EPS podrían fortalecer la porosidad del suelo y aumentar la resistencia a la penetración, al reducir el impacto dañino de la adición de agua ⁽⁴⁰⁾. En el campo se observó que al inocular microalgas verdes (*Botryococcus*, *Chlamydomonas*, *Chlorella*, etc.) se mejoró la estabilidad del suelo por el aumento del contenido de EPS en los estratos superiores ⁽³⁹⁾.

La inoculación de algas verde-azules en el suelo podría ser una fuente alterna de N para aumentar la productividad del cultivo de arroz ⁽²²⁾. Se utilizó una mezcla de inóculos de diferentes algas verde-azules (*Nostoc* spp., *Anabaena* spp., *Westiellopsis* spp., *Aulosira* spp. y *Scytonema* spp.) con diferentes niveles de N sintético (entre 0 y 80 kg de N ha⁻¹) en un ensayo de campo y se observó que las plantas inoculadas con la mezcla de microalgas aumentaron el rendimiento del grano a un 20,9 % y el rendimiento de paja hasta el 18,1 %, respectivamente ⁽²²⁾.

Las microalgas también se utilizan en la biorremediación de aguas residuales debido a su capacidad para concentrar metales pesados. Los mecanismos extracelulares e intracelulares vinculados con la absorción de metales son complejos e influenciados por las especies de microalgas, iones metálicos (Pb > N) > Cd > Zn) y las condiciones del sistema de crecimiento como el pH ^(2,45)

1.3 Aumento del crecimiento y calidad de los cultivos

Los bioproductos a base de microalgas y cianobacterias pueden mejorar el rendimiento de las plantas y la calidad de ciertos cultivos de hortalizas y alimentos ⁽³⁾. Los nutrientes disponibles en los extractos de microalgas son fácilmente absorbidos por la hoja a través de los estomas y poros de la cutícula y se muestra una mejor efectividad si se aplican por la

mañana, cuando los poros del estoma están completamente abiertos ⁽⁴⁶⁾. Algunos estudios encontraron un efecto positivo de los fertilizantes de microalgas, especialmente cuando se aplican a las hojas de cultivos hortícolas como la berenjena, ajo, pimiento, tomate y ornamentales como petunia ^(24,37,47-49).

Se demostró que la coproducción de microalgas (*Scenedesmus quadricauda* Chodato *Chlorella vulgaris* Beyerinck) con plantas de tomate proporcionaron resultados satisfactorios ya que *S. quadricauda* aumentó el crecimiento de los brotes de tomate junto con el incremento de la biomasa de la microalga ⁽²⁾. Al utilizar *Aulosira fertilissima* S.L.Ghose en el cultivo del arroz se observó que hubo un aumento del crecimiento de las posturas por la presencia de las hormonas (auxinas, citoquininas y ácido giberélico) ⁽²⁾. Otro estudio en hortalizas de hoja (*Eruca sativa* Mill., *Amaranthus gangeticus* L. y *Brassica rapa* ssp. *Chinensis* L.) mostró que al utilizar fertilizantes a base de spirulina se puede mejorar el crecimiento de las plantas ⁽¹⁰⁾. Bioestimulantes a base de *Nannochloris* spp. utilizados en plantas de tomate determinaron un mejor desarrollo de la longitud de la raíz, un mayor número de hojas y área foliar en comparación con el control ⁽²⁴⁾. Al aplicar biofertilizantes de microalgas (biomasa seca de *Nannochloropsis* spp., *Ulothrix* spp., *Klebsormidium* spp.) en el cultivo del tomate se registraron aumentos de las concentraciones de azúcares y carotenoides en el fruto mostrándose la capacidad de estos biofertilizantes para aumentar la calidad y valor económico del fruto ⁽¹⁵⁾.

El extracto de *Acutodesmus dimorphus* utilizado como aplicación foliar a 3,75 g L⁻¹ mostró un mayor crecimiento de las plantas de tomate. En particular, se registró una mayor altura de planta y cantidad de flores y ramas por planta ⁽³⁷⁾. Se realizaron experimentos de campo para evaluar la influencia de las aplicaciones foliares del extracto de *Arthrospira fusiformis* (Voronichin) Komárek & J.W.G. Lund a razón de 1 ml L⁻¹ en el crecimiento, el rendimiento y sus componentes y la vida útil de las plantas de ajo y los resultados indicaron que solo aumentó la altura de la planta en comparación con el control ⁽⁴⁷⁾.

Cuando se aplicó polvo seco de *Chlorella vulgaris* en suelo sembrado con lechuga hubo un aumento en el rendimiento del cultivo mientras que, algunos compuestos de la biomasa protegieron la planta contra los patógenos ⁽³⁾. Las aplicaciones foliares de *Spirulina platensis* (Gomont) Geitler en cultivos de remolacha y pimiento aumentaron los rendimientos que al compararlos con los obtenidos con fertilizantes comerciales (NPK), estaban a la par ⁽⁴⁸⁾. Se ha descubierto que los biofertilizantes a base de spirulina aumentan la calidad poscosecha de

la berenjena y la firmeza de la pulpa se mejoró durante un período de tiempo más largo incluso en condiciones de mayor temperatura, lo que le permite una vida útil más larga después de la cosecha ⁽⁴⁸⁾. Una mezcla foliar que contenía *Chlorella* sp. y *Spirulina* sp., enriquecida con nitrógeno, fósforo, magnesio, zinc y potasio, aumentó el rendimiento y la calidad de la papa, el guisante y el trigo ⁽²⁾. Cuando *Spirulina* sp. se aplicó directamente al suelo sembrado de girasol, chile, soja, granos verdes y maní, hubo efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas y su rendimiento ⁽³⁶⁾. Varios productores de tomate y frutas orgánicas rocían una suspensión de microalgas de *Chlorella* sp. vivas que permite el suministro de compuestos de polisacáridos complejos y microelementos directamente a través del estoma de la planta, lo que conduce a un mejor olor aromático y natural ⁽²⁾. En el cultivo de maíz se aplicó foliarmente extractos de alga verde-azul (*S. platensis*) en diferentes concentraciones y con 6 g L⁻¹ se obtuvo los mayores porcentajes del largo y diámetro de la mazorca, peso de la mazorca por planta, número de hileras por mazorca, número de granos por hileras, número de granos por mazorca, peso de granos por mazorca, peso de 100 granos, altura de la planta, largo de la mazorca, diámetro del tallo, área de la hoja de la mazorca, rendimiento de grano, rendimiento de paja, porcentaje de proteína, aceite y carbohidrato en granos ⁽¹⁶⁾. Cuando los extractos de *S. platensis* a diferentes concentraciones se combinaron con fertilización nitrogenada a diferentes niveles, se mostraron aumentos en los parámetros del crecimiento y rendimiento a medida que aumentaban las dosis, pero se recomendó utilizar 100 kg de N junto aplicaciones foliares de 4,5 g L⁻¹ de extractos de algas verde-azules para aumentar el rendimiento de los granos de maíz y su calidad además de reducir los costos de producción y contaminación ambiental por nitrógeno bajo los estudios ecológicos del sitio de experimento ⁽¹⁶⁾.

En plantas ornamentales el uso de biofertilizantes de microalgas puede mejorar la calidad de la flor, por ejemplo, en las rosas aumentaron los carotenoides que típicamente estimulan el color amarillo y naranja de los pétalos ⁽²⁾. Las aplicaciones foliares de extractos de *Scenedesmus almeriensis* a la concentración de 10 g L⁻¹ en plantas de petunia mejoró el desarrollo de la planta donde se observó mayores tasas de crecimiento de raíces, hojas, brotes y la precocidad de la floración en comparación con el control. Mientras que, con esa misma concentración de extracto de *Arthrospira* spp. en el mismo cultivo y el mismo tipo de

aplicación se mejoró la materia seca de la raíz, la cantidad de flores por planta y el contenido de agua de la planta ⁽²⁾.

1.4 Mejoramiento de la tolerancia a estrés abiótico con el uso de microalgas

La aplicación de extractos de microalgas puede proporcionar protección contra el estrés abiótico en las plantas ⁽²¹⁾. Se mitigó el estrés salino durante el proceso de germinación de la semilla de pimiento con extractos de *Dunaliella* spp. y *Phaeodactylum* spp., debido a una reducción significativa en la producción de radicales insuperóxido y una baja peroxidación de lípidos ⁽²³⁾. Se puede mejorar la tolerancia a la salinidad de plantas de trigo regadas con agua de mar si se aplica extractos de microalgas a las mismas ⁽²¹⁾. El uso de extractos acuosos de *Spirulina* spp. y *Chlorella* spp. mejoró la tolerancia del trigo a la salinidad, la capacidad antioxidante y el contenido de proteínas de los granos enteros producidos ⁽²¹⁾. Al aplicar un producto bioestimulante a base de *Nannochloris* spp. en plantas de tomate alivió los efectos del estrés hídrico y aumentó la altura de la planta ⁽²⁴⁾.

2. Incremento en el rendimiento del cultivo con el uso de macroalgas

Las macroalgas marinas se consideran recursos valiosos para la mejora de las plantas debido a su alto contenido de polisacáridos, glicerol y reguladores del crecimiento. Dentro de su composición química están presentes las auxinas, las citoquininas y las giberelinas, que tienen una amplia gama de actividades biológicas ⁽⁴⁾. La eficiencia de la fertilización con extractos líquidos de algas se debe a la presencia de micro y macro nutrientes y hormonas de crecimiento a niveles preferenciales ^(6,19).

2.1 Las macroalgas en la germinación de semillas

Los extractos de macroalgas se pueden utilizar para mejorar la germinación de semillas y el crecimiento de las posturas ⁽²⁰⁾. Extractos alcalinos y neutros de *Ulva lactuca* L. y *Padina gymnospora* (Kützinger) Sonder al 0,2 % incrementaron el porcentaje de germinación de semillas de tomate, redujeron el tiempo medio de germinación y aumentaron el índice de vigor de las posturas. Sin embargo, extractos neutros y alcalinos de *Caulerpa sertularioides* (Gmelin) tuvieron un efecto inhibitor de la germinación de la semilla de este cultivo ⁽²⁰⁾. La presencia de diversos compuestos bioactivos en los extractos de algas pueden estimular e inhibir la germinación de las semillas lo que puede ayudar a explicar esta diferencia ⁽²⁰⁾

2.2 Mejoramiento de las características del suelo para los cultivos

Las macroalgas tienen una gran habilidad para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo ⁽⁴⁾. Se utilizan como biofertilizantes lo que permite aumentar el rendimiento de varios cultivos ^(4,6,19). El uso de *U. lactuca*, *Cystoseira* spp., *G. crinale* como enmienda del suelo aumentaron los rendimientos de plantas de canola ⁽¹⁹⁾. Al adicionar *Ascophyllum* spp. a los suelos al 100 % de la capacidad de campo desarrolló la actividad microbiana y mejoró la estabilidad del suelo, aumentó la biomasa radicular, la eficiencia del uso del agua y el rendimiento del cultivo de cebolla. Se adicionaron algas a dos tipos de suelos y los arcillosos desarrollaron bien la actividad microbiana, la estabilidad de los agregados y la eficiencia del uso del agua en comparación con el suelo arenoso. Mientras que, el suelo arenoso había desarrollado ampliamente la biomasa de las raíces y el rendimiento de la cebolla ⁽²⁹⁾.

2.3 Aumento del crecimiento y calidad de los cultivos

La aplicación de extracto de algas marinas (10 g L) en plantas de cebolla aumentó la biomasa vegetal, el área foliar, el contenido de materia seca y la eficiencia en el uso del agua ^(29,50). Cuando se trataron algunos cultivos de hortalizas como berenjena, tomate y chile con fertilizante líquido de algas rojas (*Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss) incrementaron la tasa de crecimiento en todos los parámetros ⁽⁵¹⁾. En muchas plantas como tomate, chile ⁽⁵¹⁾, maíz ⁽⁵²⁾ y berenjena ⁽⁵³⁾ se indicó una alta productividad en respuesta al tratamiento con algas marinas.

Extractos alcalinos de *U. lactuca* y *Padina gymnospora* (Kützting) Sonder al 0,2 % mostraron un aumento de la longitud de los brotes y raíces de posturas de tomate, sin embargo, extractos neutros y alcalinos de *Caulerpa sertularioides* (Gmelin) tuvieron un efecto inhibitor en la longitud de la radícula ⁽²⁰⁾. Se registró el peso seco más alto de posturas de tomate a partir de semillas embebidas con ambos extractos (neutros y alcalinos) de *P. gymnospora* al 1,0 % ⁽²⁰⁾. Cuando se aplicó fertilizante líquido de *Ulva lactuca* al 8 % aumentó la longitud de la raíz, longitud del brote, índice de resistencia de la semilla, longitud y el índice de vigor de la postura de cultivos como *Trigonella foenum-graecum* L. (fenogreco) y *Spinacia oleracea* L. (espinaca), mientras que a concentraciones del 6 % ocurrió lo mismo para *Corianderum sativum* L. (cilantro) ⁽²⁵⁾.

El uso de algas permite el aumento de los pigmentos fotosintéticos (clorofila a, clorofila b, clorofila a+b, carotenoides, total de pigmentos fotosintéticos) tanto en condiciones normales como en condiciones de estrés ⁽¹⁹⁾. Un ejemplo de esto es *Ulva lactuca*, *Cystoseira* spp., *Gelidium crinale* (Hare ex Turner) Gaillon que en condiciones de estrés salino aumentaron los pigmentos en plantas de canola. También pueden aumentar la concentración de diferentes fitohormonas (ácido indolacético (IAA), ácido indolbutírico (IBA), ácido giberélico (GA3), ácido jasmónico (JA), ácido abscísico (ABA), y citoquininas (CKs; zeatina (Z) y bencil adenina (BA)) en condiciones de estrés ⁽¹⁹⁾. *Cystoseira* spp. aumentó GA3 y JA, *G. crinale* IBA y ABA y *U. lactuca* IAA y citoquininas (Z y BA) ⁽¹⁹⁾. Cuando las plantas de soya se trataron con fertilizante líquido de algas aumentaron las cantidades de clorofila a y b con respecto al control no tratado ^(29,54). Se demostró que al tratar el cultivo de *Corianderum sativum* con biofertilizante líquido de *U. lactuca* al 6 % aumentaron los niveles de clorofila a, b, el total de clorofilas, carotenoides en comparación a lo observado en *Trigonella foenum graecum* y *Spinacia oleracea* cuando se trataron con concentración al 8 % de este mismo fertilizante, mientras que, el contenido de proteínas y carbohidratos incrementaron en *T. foenum graecum* y *S. oleracea* ⁽²⁵⁾.

Se demostró que extractos acuosos de *Sargassum wightii* Greville ex J.Agardh aplicados foliarmente en el cultivo de *Ziziphus mauritiana* Lam. (ciruela india) aumentaron el rendimiento y la calidad del fruto ⁽⁵⁵⁾. También se indicó que *Hypneamus ciformis* (Wulfen) J.V.Lamouroux, *Spatogloss sumasperum* J.Agardh, *Stoechospermum marginatum* (C.Agardh) Kützing y *Sargassum* spp. inducen el crecimiento de plantas de chile verde, nabos y piña ⁽⁵⁶⁾. Numerosos estudios previos mostraron que 15 especies de macroalgas pueden estimular el crecimiento de semillas de melón y ajonjolí ⁽⁵⁷⁾. Al evaluar fertilizantes sólidos de *Sargassum crassifolium* J.Agardh en arroz se observó un aumento en la altura de la planta, así como el número de vástagos y el número de hojas, este último parámetro también aumentó con fertilizantes sólidos de otras algas (*Sargassum cristaefolium* C.Agardh y *Sargassum aquifolium* (Turner) C.Agardh). Los fertilizantes sólidos de *S. crassifolium* y *S. aquifolium* promovieron el crecimiento vegetativo, sin embargo, los fertilizantes líquidos demostraron ser más efectivos para promover el rendimiento del arroz ⁽²⁶⁾.

2.4 Mejoramiento de la tolerancia a estrés abiótico con el uso de macroalgas

Las algas permiten mitigar el efecto nocivo de la salinidad en las plantas cuando se utilizan como biofertilizantes en el suelo ^(4,19). Este es el caso de *Ulva lactuca* L., *Cystoseira* spp., *Gelidium crinale* (Hare ex Turner) Gaillon que al ser utilizadas en plantas de canola en condiciones de estrés salino se observó un efecto inhibitorio proporcional a las concentraciones de NaCl aplicadas (0, 75, 159 mM NaCl) ⁽¹⁹⁾. Las enmiendas aplicadas de estas algas permitieron un efecto estimulador significativo de todos los parámetros del crecimiento (longitud de la raíz, longitud del brote, número de vainas por planta, área media de la hoja, peso fresco y seco del brote, peso fresco y seco de la raíz) de las plantas de canola ⁽¹⁹⁾. También permitieron el aumento de metabolitos primarios como los carbohidratos y una acumulación adicional de prolina en las plantas bajo estas condiciones. Además, se vio un aumento significativo de metabolitos secundarios como fenoles, flavonoides y antocianinas en respuesta a 150 mM NaCl ⁽¹⁹⁾. El uso de *U. lactuca*, *Cystoseira* spp., *G. crinale* permitió el aumento significativo de los parámetros medios del rendimiento (largo del brote, raíz y tallo, número de siliqua por planta, número de semillas por siliqua y peso de 1000 semillas) de canola bajo condiciones de estrés salino ⁽¹⁹⁾. La incorporación del extracto de *Ascophyllum* spp. limitó los efectos negativos del estrés hídrico en suelos arenosos y aumentó el rendimiento de la cebolla ⁽²⁹⁾.

Los extractos metanólicos de *A. nodosum* y en menor medida *Laminaria digitata* (Hudson) J.V. Lamouroux, *Laminaria hyperborea* (Gunnerus) Foslie y *Fucus serratus* Thunberg se han aplicado para una producción a gran escala de biofertilizantes debido a su alto contenido de betaínas, compuestos osmolíticos orgánicos que pueden desempeñar un papel crucial en la protección efectiva contra estrés salino, hídrico y por temperatura extrema ⁽⁴⁾.

3. Acción biocida de las algas

La aplicación de productos químicos para controlar insectos, plagas, hongos y bacterias en el campo se asocia con efectos ambientales adversos y riesgos para la salud humana; por lo tanto, existe una creciente demanda de productos alternativos de base biológica ^(3,4). Las algas y las cianobacterias fueron propuestas como agentes biocidas prometedores y seguros ^(58,59). Estas pueden servir como una fuente importante de inductores de defensa de las plantas ya que contienen una serie de sustancias que permiten realizar dicha actividad ^(4,6,24). Un ejemplo

es la laminarina, un β - (1,3) glucano lineal y los fucanos sulfatados de las algas pardas que provocan múltiples respuestas de defensa en la alfalfa y el tabaco ⁽⁶⁾. Las aplicaciones foliares de extracto de *Ascophyllum nodosum* redujeron la infección por *Phytophthora capsici* (Leonian) en *Capsicum* (ají) y *Plasmopara viticola* (Berk. Et Curtis ex De Bary) en uva. La aplicación en el suelo de extractos líquidos de algas en la col estimuló el crecimiento y la actividad de los microbios que eran antagónicos a *Pythium ultimum* Trow, un patógeno fúngico grave que causa enfermedad de damping-off en las posturas ⁽⁶⁾.

Algunas especies de macro y microalgas tienen la capacidad de producir ciertos compuestos que muestran propiedades antifúngicas, insecticidas, nematocidas, herbicidas y citotoxicidad ^(3,4). Estos compuestos bioactivos inhiben las actividades fisiológicas y metabólicas en los patógenos específicos. Por ejemplo, los estudios indican que los extractos de *Chlorococcum humicolum* F.E.Fritsch & R.P.John han inhibido el crecimiento de patógenos como *Botrytis cinerea* (De Bary) en fresa y *Erysiphe polygoni* DC., Fl. Agenaise en posturas de tomate, nabos y saprófitos ⁽³⁾. Ciertas formulaciones de cianobacterias fueron efectivas para prevenir la enfermedad de pudrición de la raíz en el algodón y mejorar la rizosfera ⁽⁶⁰⁾. Se informó que la inoculación de algas y la aplicación de polvo de algas secas redujeron efectivamente la formación de agallas y la infestación de nematodos ⁽⁶¹⁾. Muchos estudios han mostrado el efecto fungicida de extractos de microalgas por presentar un efecto beneficioso en la inhibición del crecimiento de hongos (moho, botritis, mildiu) y al mismo tiempo mejorar el crecimiento de las plantas ^(62,63).

Las aplicaciones de extractos de *Padina* sp. mostraron una mortalidad significativa de ninfas de insectos, a su vez pudieron controlar el período de apareamiento y la fecundidad. Por lo tanto, el uso de esta alga bioinsecticida podría ser una alternativa para el manejo de plagas en cultivos económicamente importantes ^(5,64). Se demostró *in vitro* que los polisacáridos de *Anabaena* sp. y de *Ecklonia* sp. inhibieron el crecimiento de las colonias, las unidades formadoras de colonia (UFC) y el crecimiento de las UFC de *Botrytis cinerea* en el cultivo de la fresa mientras que los polisacáridos de *Jania* sp. solo redujeron la germinación de esporas del hongo. Todas las concentraciones de *Anabaena* sp., *Ecklonia* sp. y *Jania* sp. disminuyeron tanto el área infectada de las frutas de fresa como la esporulación del patógeno en el tratamiento previo a la cosecha ⁽⁵⁹⁾. Otros estudios informaron que extractos de *Laminaria digitata*, *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar y *Porphyra umbilicalis* Kützinger inhibieron tanto el crecimiento micelial como la germinación de esporas de

B. cinerea ⁽⁶⁵⁾. Además, el extracto de *Lessonia trabeculata* Villouta & Santelices mostró un efecto protector contra *B. cinerea* en hojas de tomate ^(59,66). La combinación del extracto de *A. nodosum* y el ácido húmico en *Agrostis stolonifera* L. aumentó la actividad SOD y disminuyó significativamente la enfermedad de la mancha del dólar causada por *Sclerotinia homoeocarpa* F.T. Benn ⁽⁶⁾. Los extractos de algas hidrolizadas rociados en los manzanos redujeron las poblaciones de ácaros rojos ⁽⁶⁾. Se observó que el uso de Maxicrop (producto comercial a base de algas) en plantas de fresa redujo en gran medida la población de araña roja (*Tetranychus urticae*) ⁽⁶⁾.

Se demostró que el extracto metanólico de *Sargassum swartzii*, manifestó una mayor actividad bactericida contra *Pseudomonas syringae* Van Hall que causa la enfermedad de las manchas foliares en *Gymnema sylvestre* R.Br ⁽⁶⁷⁾ e inhibió el crecimiento de *Xanthomona soryzaep* v. *oryzae*, que causa el tizón bacteriano del arroz ⁽⁴⁾. Extractos acetónicos de *Sargassum polyceratium* Montagne mostraron una actividad notable contra diferentes tipos de bacterias como por ejemplo, *Erwinia carotovora* (Smith). La aplicación de extractos acuosos de *Cystoseira myriophylloides* Sauvageau y *Fucus spiralis* L. en invernadero redujeron significativamente la enfermedad de la agalla de la corona causada por el patógeno bacteriano *Agrobacterium tumefaciens* (Smith & Townsend) en tomate ⁽⁶⁸⁾. Además, el extracto metanólico de *Padina gymnospora* (Kützinger) Sonder caracterizado por una alta proporción de ácido palmítico mostró una alta actividad antibacteriana frente a *Ralstonia solanacearum* (Smith) y *P. carotovora* ⁽⁶⁹⁾. Al utilizar *in vivo* algas como *Spatoglossum variable* Figari & De Notaris, *Polycladia indica* (Thivy & Doshi) y *Melanothamnus afaqhusainii* M.Shameel tuvieron efectos supresores significativos contra los hongos de pudrición de la raíz, *Fusarium solania* y *Macrophomina phaseolina* en berenjena y sandía ⁽⁷⁰⁾. Se reveló recientemente que la aplicación *in vivo* de polvo de *Padina gymnospora*, *Sargassum latifolium* (Turner) C.Agardh e *Hydroclathrus clathratus* (C.Agardh) M.Howe, como enmiendas del suelo, disminuye el porcentaje de la enfermedad causada por *Fusarium solani* (Mart.) en berenjena ⁽⁶⁹⁾.

También en invernadero se evaluó una resistencia significativa a la enfermedad causada por *Verticillium dahliae* (Kleb.) en tomate utilizando extractos acuosos de las algas pardas *Cystoseira myriophylloides*, *Laminaria digitata* y *Fucus spiralis* por aplicación a toda la planta o por imbibición de semillas ⁽⁶⁸⁾. Se demostró que al mezclar el suelo con polvos de

Spatoglossum variable, *Polycladia indica* y *Melanothamnus afaqhusainii* suprimieron significativamente la infección con el nematodo *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) en sandía y berenjena ⁽⁷⁰⁾. Se observó que los extractos comerciales a base de algas como *Ascophyllum nodosum* y *Ecklonia maxima* tienen la capacidad de afectar negativamente la eclosión de los huevos y las percepciones sensoriales cuando se aplican *in vivo* contra los nematodos *Meloidogyne chitwoodi* Golden, O'Bannon, Santo & Finley y *Meloidogyne hapla* Chitwood ⁽⁷¹⁾.

CONCLUSIONES

- Las macro y microalgas han demostrado tener un enorme potencial como bioestimulantes, biofertilizantes, promotores del crecimiento y rendimiento de las plantas, mitigadores de estreses abióticos y biocidas.
- Los efectos que provocan los extractos de algas en la germinación de las semillas, la calidad de los frutos y la defensa de las plantas frente a plagas y patógenos son satisfactorias. Por estas razones se puede recomendar la aplicación de estos bioproductos en la agricultura.

BIBLIOGRAFÍA

1. Terry Alfonso E, Falcón Rodríguez A, Ruiz Padrón J, Carrillo Sosa Y, Morales Morales H. Respuesta agronómica del cultivo de tomate al bioproducto QuitoMax®. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(1):147–54.
2. Ronga D, Biazzi E, Parati K, Carminati D, Carminati E, Tava A. Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*. 2019;9(4):192.
3. Das P, Khan S, Chaudhary AK, AbdulQuadir M, Thaher MI, Al-Jabri H. Potential Applications of Algae-Based Bio-fertilizer. In: *Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment*. Springer; 2019. p. 41–65.
4. Hamed SM, El-Rhman AAA, Abdel-Raouf N, Ibraheem IB. Role of marine macroalgae in plant protection & improvement for sustainable agriculture technology. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. 2018;7(1):104–10.
5. Ansari, A. A.; Ghanem, S. M. y Naeem, M. Brown Alga *Padina*: A review. *International Journal of Botany Studies*. 2019; 4(1): 01-03

6. Khan W, Rayirath UP, Subramanian S, Jithesh MN, Rayorath P, Hodges DM, et al. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2009;28(4):386–399.
7. Hernández-Herrera RM, Santacruz-Ruvalcaba F, Ruiz-López MA, Norrie J, Hernández-Carmona G. Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings *Solanum lycopersicum* L. *Journal of applied phycology*. 2014;26(1):619–28.
8. Hernández-Herrera RM, Santacruz-Ruvalcaba F, Zañudo-Hernández J, Hernández-Carmona G. Activity of seaweed extracts and polysaccharide-enriched extracts from *Ulva lactuca* and *Padina gymnospora* as growth promoters of tomato and mung bean plants. *Journal of applied phycology*. 2016;28(4):2549–60.
9. Hernández-Herrera RM, Santacruz-Ruvalcaba F, Briceño-Domínguez DR, Di Filippo-Herrera DA, Hernández-Carmona G. Seaweed as potential plant growth stimulants for agriculture in Mexico. *Hidrobiológica*. 2018;28(1):129–40.
10. Aghofack J, Schinzoumka PA, Tatchago V. Effets des extraits ou de la poudre de *Spirulina platensis* et *Jatropha curcas* sur la croissance et le développement de la tomate. *Journal of Applied Biosciences*. 2015;90(1):8413–20.
11. Sathasivam R, Radhakrishnan R, Hashem A, Abd_Allah EF. Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. *Saudi journal of biological sciences*. 2019;26(4):709–22.
12. Tuhy L, Chowańska J, Chojnacka K. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth: review. *Chemik*. 2013;67(7):636–41.
13. Díaz-Leguizamón JJ, Chingaté-Cruz OF, Sánchez-Reinoso AD, Restrepo-Díaz H. The effect of foliar applications of a bio-stimulant derived from algae extract on the physiological behavior of lulo seedlings *Solanum quitoense* cv. Septentrionale. *Ciencia e investigación agraria*. 2016;43(1):25–37.
14. Wang SC, Khin MC, Chua PQD, Luo YD. Use of *Spirulina* biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers. *Algal research*. 2016;15:59–64.
15. Coppens J, Grunert O, Van Den Hende S, Vanhoutte I, Boon N, Haesaert G, et al. The use of microalgae as a high-value organic slow-release fertilizer results in tomatoes with

- increased carotenoid and sugar levels. *Journal of applied phycology*. 2016;28(4):2367–77.
16. El-Moursy RS, Abido WAE, Badawi MA. Response of maize productivity to nitrogen fertilizer and spraying with blue green algae extract. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*. 2019;14(2):10–20.
 17. Salim BBM. Influence of biochar and seaweed extract applications on growth, yield and mineral composition of wheat *Triticum aestivum* L. under sandy soil conditions. *Annals of Agricultural Sciences*. 2016;61(2):257–65.
 18. Wafaa AE-A, Hendawy SF, Hamed ES, Toaima WIM. Effect of planting dates, organic fertilization and foliar spray of algae extract on productivity of Dutch fennel plants under Sinai conditions. *Journal of Medicinal Plants*. 2017;5(3):327–34.
 19. Hashem HA, Mansour HA, El-Khawas SA, Hassanein RA. The potentiality of marine macro-algae as bio-fertilizers to improve the productivity and salt stress tolerance of canola *Brassica napus* L. plants. *Agronomy*. 2019;9(3):146.
 20. Hernández-Herrera RM, Santacruz-Ruvalcaba F, Hernández-Carmona G. Germination and seedling growth responses of tomato *Solanum lycopersicum* L. to seaweed extracts applied on seeds. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*. 2019;10(1):28–44.
 21. Abd El-Baky HH, El-Baz FK, El Baroty GS. Enhancing antioxidant availability in wheat grains from plants grown under seawater stress in response to microalgae extract treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2010;90(2):299–303.
 22. Paudel YP, Pradhan S, Pant B, Prasad BN. Role of blue green algae in rice productivity. *Agriculture and Biology Journal of North America*. 2012;3(8):332–5.
 23. Guzmán-Murillo MA, Ascencio F, Larrinaga-Mayoral JA. Germination and ROS detoxification in bell pepper *Capsicum annuum* L. under NaCl stress and treatment with microalgae extracts. *Protoplasma*. 2013;250(1):33–42.
 24. Oancea F, Velea S, Fătu V, Mincea C, Ilie L. Micro-algae based plant biostimulant and its effect on water stressed tomato plants. *Rom. J. Plant Prot*. 2013;6:104–17.
 25. Patel HD, Brahmabhatt N, Patel J, Patel R, Thaker P, Brahmabhatt N. Effect of Seaweed Extract on different Vegetables as a Bio Fertilizer in Farming. *International Journal for Research*. 2019;7(3):2062–7.

26. Sunarpi H, Ansyarif F, Putri F, Azmiati S, Nufus N, Widyastuti S, et al. Effect of Indonesian Macroalgae based solid and liquid fertilizers on the growth and yield of rice *Oryza sativa*. *Asian Journal of Plant Sciences*. 2019;18:15–20. doi:10.3923/ajps.2019.15.20
27. Gebser B, Pohnert G. Synchronized regulation of different zwitterionic metabolites in the osmoadaptation of phytoplankton. *Marine drugs*. 2013;11(6):2168–82.
28. Tate JJ, Gutierrez-Wing MT, Rusch KA, Benton MG. The effects of plant growth substances and mixed cultures on growth and metabolite production of green algae *Chlorella* sp.: a review. *Journal of plant growth regulation*. 2013;32(2):417–28.
29. Al-Maliki S, Adnan A, AL-Mammory KAAH, ALmoslimawi AA. Effect of Ascophyllum Extract and Water Stress on Soil Biological Properties and Growth of Onion *Allium Cepa* L. *Indian Journal of Ecology*. 2019;46(4):796–802.
30. Singh AK, Singh PP, Tripathi V, Verma H, Singh SK, Srivastava AK, et al. Distribution of cyanobacteria and their interactions with pesticides in paddy field: a comprehensive review. *Journal of environmental management*. 2018;224:361–75.
31. Ladha JK, Tirol-Padre A, Reddy CK, Cassman KG, Verma S, Powlson DS, et al. Global nitrogen budgets in cereals: A 50-year assessment for maize, rice, and wheat production systems. *Sci. Rep.-UK*. 2016;6:19355. <https://doi.org/10.1038/srep19355>
32. Ma J, Bei Q, Wang X, Lan P, Liu G, Lin X, et al. Impacts of Mo application on biological nitrogen fixation and diazotrophic communities in a flooded rice-soil system. *Science of The Total Environment*. 2019;649:686–94.
33. Uysal O, Uysal FO, Ekinci K. Evaluation of microalgae as microbial fertilizer. *European Journal of Sustainable Development*. 2015;4(2):77–82.
34. Odgerel B, Tserendulam D. Effect of *Chlorella* as a biofertilizer on germination of wheat and barley grains. *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*. 2016;4(220):26–31.
35. Dmytryk A, Roj E, Wilk R, Chojnacka K, Gorecki H. Effect of new biostimulators on the initial phase of plant growth. *Przemysl Chemiczny*. 2014;93(6):1020–5.
36. Michalak I, Chojnacka K, Dmytryk A, Wilk R, Gramza M, Rój E. Evaluation of supercritical extracts of algae as biostimulants of plant growth in field trials. *Frontiers in plant science*. 2016;7:1591.

37. Garcia-Gonzalez J, Sommerfeld M. Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga *Acutodesmus dimorphus*. *Journal of applied phycology*. 2016;28(2):1051–61.
38. El Arroussi H, Elbaouchi A, Benhima R, Bendaou N, Smouni A, Wahby I. Halophilic microalgae *Dunaliella salina* extracts improve seed germination and seedling growth of *Triticum aestivum* L. under salt stress. In: II World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture. 2015. p. 13–26.
39. Yilmaz E, Sönmez M. The role of organic/bio-fertilizer amendment on aggregate stability and organic carbon content in different aggregate scales. *Soil and Tillage Research*. 2017;168:118–24.
40. Chamizo S, Mugnai G, Rossi F, Certini G, De Philippis R. Cyanobacteria inoculation improves soil stability and fertility on different textured soils: gaining insights for applicability in soil restoration. *Frontiers in Environmental Science*. 2018;6:49.
41. Pereira S, Zille A, Micheletti E, Moradas-Ferreira P, De Philippis R, Tamagnini P. Complexity of cyanobacterial exopolysaccharides: composition, structures, inducing factors and putative genes involved in their biosynthesis and assembly. *FEMS microbiology reviews*. 2009;33(5):917–41.
42. Angelis S de, Novak AC, Sydney EB, Soccol VT, Carvalho JC, Pandey A, et al. Co-culture of microalgae, cyanobacteria, and macromycetes for exopolysaccharides production: process preliminary optimization and partial characterization. *Applied biochemistry and biotechnology*. 2012;167(5):1092–106.
43. Delattre C, Pierre G, Laroche C, Michaud P. Production, extraction and characterization of microalgal and cyanobacterial exopolysaccharides. *Biotechnology advances*. 2016;34(7):1159–79.
44. Rossi F, Li H, Liu Y, De Philippis R. Cyanobacterial inoculation (cyanobacterisation): perspectives for the development of a standardized multifunctional technology for soil fertilization and desertification reversal. *Earth-Science Reviews*. 2017;171:28–43.
45. Kumar KS, Dahms H-U, Won E-J, Lee J-S, Shin K-H. Microalgae—a promising tool for heavy metal remediation. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2015;113:329–52.
46. Battacharyya D, Babgohari MZ, Rathor P, Prithiviraj B. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*. 2015;196:39–48.

47. Shalaby TA, El-Ramady H. Effect of foliar application of bio-stimulants on growth, yield, components, and storability of garlic (*Allium sativum* L.). Australian Journal of Crop Science. 2014;8(2):271.
48. Dias GA, Rocha RHC, Araújo JL, De Lima JF, Guedes WA. Growth, yield, and postharvest quality in eggplant produced under different foliar fertilizer *Spirulina platensis* treatments. Semina: Ciências Agrárias. 2016;37(6):3893.
49. Plaza BM, Gómez-Serrano C, Ación-Fernández FG, Jimenez-Becker S. Effect of microalgae hydrolysate foliar application (*Arthrospira platensis* and *Scenedesmus* sp.) on *Petunia x hybrida* growth. Journal of Applied Phycology. 2018;30(4):2359–65.
50. Babilie R, Jbour M, Trabi BA. Effect of foliar spraying with licorice root and seaweed extracts on growth and seed production of onion *Allium cepa* L. Inter. J. Chem. Tech. Res. 2015;8(11):557–63.
51. Rao GN, Chatterjee R. Effect of seaweed liquid fertilizer from *Gracilaria textorii* and *Hypnea musciformis* on seed germination and productivity of some vegetable crops. Universal Journal of Plant Science. 2014;2(7):115–20.
52. Mzibra A, Aasfar A, El Arroussi H, Khouloud M, Dhiba D, Kadmiri IM, et al. Polysaccharides extracted from Moroccan seaweed: A promising source of tomato plant growth promoters. Journal of applied phycology. 2018;30(5):2953–62.
53. Ramya SS, Vijayanand N, Rathinavel S. Foliar application of liquid biofertilizer of brown alga *Stoechospermum marginatum* on growth, biochemical and yield of *Solanum melongena*. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. 2015;4(3):167–73.
54. Ramarajan S, Joseph LH, Ganthi AS. Effect of seaweed liquid fertilizer on the germination and pigment concentration of soybean. Journal of Crop Science and Technology. 2012;1(2):1–5.
55. Karthick P, Mohan PM. Associated Epiphytic Faunal Distribution on brown algae *Sargassum wightii* Greville ex J.Agardh, in the Environments, Off South Andaman. Journal of Terrestrial and Marine Research. 2017;1:41–4.
56. Sujatha K, Vijayalakshmai V, Suganthi A. Comparative efficacy of brown, red and green seaweed extracts on low vigour sunflower *Helianthus annus* L. var. TN (SUF) 7 seeds. Afr. J. Agric. Res. 2015;10:2165–9.

57. Sunarpi H, Jupri A, Kurnianingsih R, Julisaniah N, Nikmatullah A. Effect of seaweed extracts on growth and yield of rice plants. *Nusantara Bioscience*. 2010;2(2):73–7.
58. Gol'din E. Biologically active microalgae and cyanobacteria in nature and marine biotechnology. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2012;12(5):423–7.
59. Righini H, Baraldi E, García Fernández Y, Martel Quintana A, Roberti R. Different antifungal activity of *Anabaena* sp., *Ecklonia* sp., and *Jania* sp. against *Botrytis cinerea*. *Mar. drugs*. 2019;17(5):299.
60. Babu S, Bidyarani N, Chopra P, Monga D, Kumar R, Prasanna R, et al. Evaluating microbe-plant interactions and varietal differences for enhancing biocontrol efficacy in root rot disease challenged cotton crop. *European journal of plant pathology*. 2015;142(2):345–62.
61. Hamouda RA, El-Ansary MSM. Potential of plant-parasitic nematode control in banana plants by microalgae as a new approach towards resistance. *Egypt J Biol Pest Control*. 2017; 27(2):165–172
62. Bileva T. Influence of green algae *Chlorella vulgaris* on infested with *Xiphinema index* grape seedlings. *J Earth Sci Clim Change*. 2013;4(2):136.
63. Bilbao J, Tseng E, Fuerst M, Erb-Brinkmann M, Schmid-Staiger U, Ördög V, et al. ProEcoWine: development of a novel plant protection product to replace copper in organic viticulture. *Building Organic Bridges*. 2014;2:539–42.
64. Sivakumar SR. Antibacterial potential of white crystalline solid from red algae *Porteirria hornemaniai* against the plant pathogenic bacteria. *African Journal of Agricultural Research*. 2014;9(17):1353–7. doi:10.5897/AJAR2013. 8369
65. De Corato U, Salimbeni R, De Pretis A, Avella N, Patruno G. Antifungal activity of crude extracts from brown and red seaweeds by a supercritical carbon dioxide technique against fruit postharvest fungal diseases. *Postharvest Biology and Technology*. 2017;131:16–30.
66. Jiménez E, Dorta F, Medina C, Ramírez A, Ramírez I, Peña-Cortés H. Anti-phytopathogenic activities of macro-algae extracts. *Marine drugs*. 2011;9(5):739–56.
67. Kumar CS, Sarada DVL, Rengasamy R. Seaweed extracts control the leaf spot disease of the medicinal plant *Gymnema sylvestri*. *Indian J. Sci. Technol*. 2008;1(3):93–4.

68. Esserti S, Smaili A, Rifai LA, Koussa T, Makroum K, Belfaiza M, et al. Protective effect of three brown seaweed extracts against fungal and bacterial diseases of tomato. *Journal of Applied Phycology*. 2017;29(2):1081–93.
69. Ibraheem BMI, Hamed SM, Abd Elrhman AA, Farag MF, Abdel-Raouf N. 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*. 2017;11(5):157–68.
70. Baloch GN, Tariq S, Ehteshamul-Haque S, Athar M, Sultana V, Ara J. Management of root diseases of eggplant and watermelon with the application of asafoetida and seaweeds. *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2013;86(1):138–42.
71. Ngala BM, Valdes Y, Dos Santos G, Perry RN, Wesemael WM. Seaweed-based products from *Ecklonia maxima* and *Ascophyllum nodosum* as control agents for the root-knot nematodes *Meloidogyne chitwoodi* and *Meloidogyne hapla* on tomato plants. *Journal of Applied Phycology*. 2016;28(3):2073–82.