

Revisión bibliográfica

Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada

Indira López-Padrón^{1*} 

Lisbel Martínez-González¹ 

Geydi Pérez-Domínguez¹ 

Yanelis Reyes-Guerrero¹ 

Miriam Núñez-Vázquez¹ 

Juan A. Cabrera-Rodríguez¹ 

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: shari@inca.edu.cu

RESUMEN

La necesidad de una agricultura sostenible y los consumidores de productos orgánicos, han aumentado en todo el mundo en los últimos años. Por tal motivo, el incremento en el uso de productos biológicos es uno de los retos de la agricultura moderna. La utilización de las algas, es una de las opciones más viables a utilizar con estos fines. Las algas, son organismos fotosintetizadores de organización sencilla, que viven en el agua o en ambientes muy húmedos. La Spirulina, es un tipo de microalga verde-azul, perteneciente al género *Arthrospira*, que es cultivada en muchos lugares del mundo y posee un gran interés en el campo de la biotecnología, debido a su alto valor nutricional. Con esta revisión bibliográfica se propone dar una visión general y actualizada sobre las algas, su clasificación, su composición y métodos de extracción; así como sus usos en la agricultura, haciendo énfasis en la Spirulina por ser un alga reproducida en Cuba hace más de dos décadas, con fines cosméticos y farmacéuticos; sin embargo, muy poco empleada con fines agrícolas.

Palabras clave: productos bioactivos, cianobacterias, plantas

Recibido: 06/12/2018

Aceptado: 03/04/2020

INTRODUCCIÓN

La utilización inadecuada de productos químicos en la agricultura, ha ocasionado la pérdida de la capa fértil de los suelos, ha disminuido su biodiversidad y ha ido eliminando a los enemigos naturales de las plagas ⁽¹⁾.

Hoy en día, la indiscutible necesidad de proteger el medio ambiente y luchar contra los efectos adversos que ocasiona el cambio climático en la agricultura, ha traído consigo que se retome, con gran aceptación, el uso de extractos vegetales y de algas, para aumentar los rendimientos agrícolas y para la prevención y el tratamiento de enfermedades en las plantas. Estos extractos son productos biodegradables y de baja o nula toxicidad para animales y humanos ^(2,3).

Las algas, pertenecientes en su mayoría al reino protista, son organismos fotosintetizadores de organización sencilla, que viven en el agua o en ambientes muy húmedos. En este grupo también se incluyen las cianobacterias de célula procariota ^(4,5).

Al hablar del uso de las algas como fertilizante hay que remontarse al siglo XIX, cuando los habitantes de las costas recogían las grandes algas pardas arrastradas por la marea, las colocaban en sus terrenos y observaban el efecto beneficioso de estos organismos sobre las plantas y el suelo agrícola ⁽⁶⁾.

Desde los años 50, el uso de algas ha sido sustituido por los extractos hechos de diferentes especies de macroalgas. Actualmente, estos extractos han ganado aceptación como “bioestimuladores de las plantas”. Ellos inducen respuestas fisiológicas en las plantas, tales como la promoción del crecimiento vegetal, el mejoramiento de la floración y del rendimiento, la estimulación de la calidad y del contenido nutricional del producto comestible, así como la prolongación de la vida en anaquel. Además, las aplicaciones de diferentes tipos de extractos han estimulado la tolerancia de las plantas a un amplio rango de estrés abiótico ⁽¹⁾.

Por otra parte, las algas verdes y las cianobacterias están involucradas en la producción de metabolitos tales como hormonas vegetales, polisacáridos, compuestos antimicrobianos, entre otros, que juegan un papel importante en la fisiología de plantas y en la proliferación de comunidades microbianas en el suelo ⁽⁷⁾.

Dentro del grupo de las cianobacterias se encuentra la *Spirulina (Arthrospira platensis)*, cianobacteria muy utilizada en Cuba en el campo farmacéutico y nutricional, pero poco explotada en la agricultura. Sin embargo, en el resto del mundo su uso se ha ido intensificando

en el campo agrícola gracias a los efectos que ejerce en el suelo y las plantas ^(8,9), de ahí la necesidad de realizar investigaciones relacionadas con la aplicación de las algas y especialmente, de la *Spirulina* en nuestra agricultura, con vista a disminuir el uso de productos químicos, tan costosos para el medio ambiente y para la economía del país.

Por todo lo anterior, esta revisión bibliográfica tiene como objetivo dar una visión general y actualizada sobre las algas en general y los efectos que se logran en las plantas con la aplicación de estas, haciendo énfasis en la *Spirulina*.

Clasificación de las algas

Existen algunas diferencias en cuanto a la clasificación de las algas; no obstante, de forma general se pueden dividir en tres grandes grupos: las microalgas, las macroalgas y las verdaderas plantas vasculares, las cuales a su vez se subdividen en diferentes grupos (ver Tabla 1) ^(4,5,10-13).

Tabla 1. Clasificación de las algas

Tipo de alga	Características
Microalgas	
Filo-pirrofitas (dinoflagelados)	En su mayoría son unicelulares, que tienen dos flagelos de longitud distinta. La célula se encuentra desnuda o va provista de una cubierta más o menos dura. Presentan forma de vida parasitaria o depredativa ^(4,5) .
Filo-crisófitas	Conocidas como algas amarillas, son organismos unicelulares o pluricelulares que se reúnen en colonias. Su característica principal es la presencia de cromatóforos con pigmentos de color amarillo que les confieren un aspecto dorado. Son de morfología variable con flagelos y sin ellos y en algunos casos se mueven por rizópodos. Siempre se reproducen vegetativamente ^(8,9) .
Filo-euglenófitas	Algas de 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 multiplican por división longitudinal ^(4,8,9) .
Filo-bacilariofitas (diatomeáceas)	Son las conocidas diatomeas. Son formas solitarias que forman colonias estrelladas ^(4,5) .
Cianofíceas	Conocidas como algas verde-azules (cianobacterias), son un tipo de bacterias fotosintetizadoras. Pueden resistir condiciones extremas de salinidad, temperatura y pH, porque producen envolturas mucilaginosas que las aíslan del medio ambiente externo cuando ocurren cambios bruscos ^(8,9) .
Macroalgas	
Clorófitas	Conocidas como algas verdes, son organismos unicelulares o pluricelulares de formas muy variables. La mayoría de las especies microscópicas son propias de agua dulce, aunque hay numerosos grupos marinos que alcanzan tamaños grandes. Se multiplican por división celular sexualmente o por la fusión de dos gametos de tamaños diferentes ⁽⁸⁻¹¹⁾ .
Feófitas	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, viviendo muy pocas en agua dulce ⁽⁸⁻¹¹⁾ . Este grupo de algas es el que tiene más generalizado su uso en la agricultura, estando la <i>Ascophyllum nodosum</i> entre las más usadas del grupo con estos fines ⁽¹¹⁻¹⁵⁾ .
Rodófitas	Son conocidas como algas rojas, con longitudes que oscilan de unos pocos centímetros hasta un metro aproximadamente y comprenden especies típicas de aguas marinas de grandes profundidades, zonas donde otras especies no pueden sobrevivir por la falta de la luz. Son de color rojo, aunque no siempre presentan este color, a veces son púrpuras, o incluso de color rojo pardo, a pesar de ello, poseen clorofila. Se reproducen sexual y asexualmente y poseen complicados ciclos de alternancia de generaciones ⁽⁸⁻¹¹⁾ .
Verdaderas plantas vasculares	
	Las verdaderas plantas vasculares o carófitos son algas muy complejas, de color verde en su mayoría, frecuentes en las orillas de los ríos y lagos, que se reproducen sexualmente o por vía vegetativa ^(8,9) .

Composición química de las algas

La composición química de las algas, al igual que las de las plantas, está muy relacionada con su localización y las condiciones del lugar donde crecen, dependiendo fuertemente de la disponibilidad de nutrientes, luz, salinidad, profundidad, presencia de corrientes de agua dulce y por supuesto, contaminación o contenido en metales pesados del agua ⁽²⁾.

En las algas, se han identificado fitohormonas y reguladores del crecimiento (citoquininas, auxinas, giberelinas, betaínas, ácido abscísico y brasinoesteroides) ⁽¹⁵⁻²²⁾, polisacáridos matriciales y de reserva (alginatos, carragenatos, agar, ulvanos, mucopolisacáridos y sus oligosacáridos, fucoídano, laminarano, almidón y fluoroideo) ^(1,7,22-24), oligosacáridos, biotoxinas y compuestos antioxidantes (polifenoles, bromofenoles, flavonoides, polímeros de fluoroglucinol, ésteres gálicos, cumarinas, flavononas, fluorotaninos, protoantocianidinas oligoméricas, diterpenos y monoterpenos polihalogenados, cetonas halogenadas y compuestos isoprenoides) ⁽⁷⁾, clorofilas y carotenos ^(24,25), xantofilas ⁽²⁴⁾, minerales (hierro, calcio, magnesio, fósforo, yodo, nitrógeno, potasio, bario, boro, cobalto, cobre, magnesio, manganeso, molibdeno, níquel y zinc), materia orgánica ^(1,13,14,16,19,20,24,26), manitol ⁽¹⁶⁻¹⁸⁾, vitaminas, aminoácidos y proteínas ^(1,2,12,13,17,19,20,24,25,27), ácidos algínicos, fúlvicos y otros ácidos orgánicos (palmítico, butírico, oleico, linoleico ^(2,16,19,27,28), enzimas ^(18,19), esterol y fucosterol ⁽¹⁶⁾.

Esta rica composición que poseen las algas es la responsable de los efectos beneficiosos que su aplicación provoca en las plantas, debido al papel que juegan muchos de estos compuestos en los diversos procesos fisiológicos de las mismas.

Métodos de extracción de los principios activos de las algas

En la medida en que sean bien ajustados los procesos desde la recolección hasta la extracción de los principios activos, los resultados obtenidos en campo serán mejores. En general, la mayor parte de los procesos extractivos deben incluir la ruptura celular para liberar al extracto los componentes de interés ⁽³⁾.

Los procesos pueden incluir extracción con álcali ^(1,15,23), extracción con ácido, ruptura de células en suspensión ^(1,15), digestión con enzimas ⁽³⁾, extracción con agua a altas presiones ^(23,29), extracción con disolventes químicos ^(24,30), extracción asistida con microondas ^(23,29,30) y extracción con fluidos supercríticos (CO₂) ^(23,29). En ocasiones, simplemente, se utiliza un secado seguido de una pulverización y se utiliza el polvo para ser aplicado al suelo. Muchos

de estos procesos se realizan en la mayoría de los casos usando bajas temperaturas para no dañar ningún metabolito ^(1,15).

A continuación se describirán los procesos de extracción que han sido más utilizados.

Extracción con álcalis

Este método se desarrolló en los años 40 y consiste en la utilización de una base (generalmente hidróxido de potasio), junto con la aplicación de calor. Las algas utilizadas son secadas con altas temperaturas (>100 °C) para facilitar su almacenaje y el producto obtenido generalmente tiene un pH alto; todo ello conlleva a una desnaturalización de principios activos que redundan en una drástica pérdida de sus propiedades ^(1,15,16,23). Esto hace que aunque este método fue de los más utilizados, no es de los más factibles para obtener extractos con un gran número de beneficios.

Extracción con disolventes químicos

En este método, se emplean un conjunto de disolventes químicos con diferentes polaridades para la extracción de sus principios activos, siendo los más utilizados el agua y las soluciones hidroalcohólicas y no se emplean altas temperaturas ^(19,21–23,25,26,29). El hecho de no utilizarse altas temperaturas, ni disolventes químicos que afecten drásticamente el pH, hace que este sea uno de los métodos de preferencia ya que no se afectan las propiedades de los principios activos de las algas.

Extracción con fluidos supercríticos (CO₂)

Este método no aplica ni disolventes químicos ni altas temperaturas. La materia prima utilizada tiene que ser fresca, por lo que las plantas de producción tienen que estar cerca de la costa. En este método, el alga es triturada a muy pequeñas partículas y sometida a alta presión para favorecer la extracción de los principios activos. Dado que no se aplican altas temperaturas en ninguna etapa del proceso y tampoco se utilizan disolventes químicos, los principios activos son conservados y el pH se mantiene a su nivel fisiológico de 4,5 aproximadamente ^(23,29).

El proceso de extracción que se elija es clave para la obtención de un producto con la composición necesaria para lograr los efectos deseados ^(1,3) y se eligen en dependencia de la composición que se requiera. Por ejemplo, para obtener un extracto rico en auxinas,

generalmente se utiliza la extracción con álcalis, la extracción asistida por microondas se ha utilizado para la obtención de un extracto rico en polisacáridos ⁽³⁰⁾ y si esta se combina con la extracción con agua a altas presiones, se obtiene un extracto rico en fucoidanos. La extracción con etanol al 70 % permite la obtención de un extracto rico en citoquininas, mientras que usando metanol al 85 % se obtiene un extracto rico en giberelinas y usando la extracción de fluidos supercríticos se obtienen extractos ricos en lípidos, metabolitos volátiles, pigmentos, antioxidantes, carotenoides, clorofilas, vitamina E y ácido linoleico ⁽²³⁾.

Productos elaborados a partir de algas

Con el objetivo de ampliar el uso de las algas en la agricultura, en la actualidad se elaboran una gran variedad de productos, dentro de los que se encuentran:

Macroalgas troceadas y en polvo

La biomasa de algas con estos fines procede generalmente de la explotación de poblaciones naturales de *Ascophyllum*, *E. Macrocystis*, *Durvillea*, *Ecklonia*, *Fucus*, *Sargassum*, *Cystoseira* y *Laminaria*. Se seca (al sol o en secaderos tipo tabaco) y se trocea y/o muelen para dar unas harinas. Generalmente estas se emplean cercanas a las zonas costeras ⁽¹⁾.

Estas harinas se espolvorean o se disuelven en agua para efectuar siembras en hidropónicos. Por otra parte se esparcen a suelos erosionados o contaminados, taludes, campos de cultivo, etc., con la finalidad de fijar taludes de carreteras y desmontes, regenerar suelos pobres y con problemas de toxicidad, tratar campos deportivos de césped y sembrar prados de gran pendiente, entre otros ^(1,31).

Extractos líquidos de algas

De manera general, los extractos líquidos de algas son utilizados para la aplicación foliar como biofertilizantes, aunque también se aplican al suelo. Algunos extractos comerciales contienen sólo macroalgas, aunque son más abundantes los extractos suplementados con oligoelementos, harinas de pescado y/o pesticidas. Los extractos de microalgas (vivas; p.e.: Agroplasma) y de cianobacterias (muertas; p.e.: "G.A. Gel de algas" y Agro-orgánicos Mediterráneo) han aparecido en el mercado a finales de la década de los 90 ⁽³¹⁻³⁶⁾.

Existe un número amplio de bioestimulantes comerciales a base de algas, fabricados la mayor parte a partir del alga *Ascophyllum nodosum*, ejemplo de estos productos tenemos a Acadian, Fruticrop, Solu-Sea y Stimplex^(17,33). También, se pueden encontrar productos comerciales fabricados a partir de microalgas como la *Spirulina* o la *Chlorella*, por ejemplo, CBFERT y Naturplasma, respectivamente⁽³⁴⁾ o a partir de la combinación de ambas como el producto conocido como Naturvita⁽³⁵⁾.

Usos y efectos de las algas en la agricultura

Los efectos que se logran con los extractos de algas, dependen en gran medida del efecto sinérgico de la acción de todos los componentes, no pudiendo aislar el efecto por sí sólo de cada uno de los principios activos⁽³⁷⁾. Estos efectos se logran con concentraciones bajas de los extractos, llegando a utilizar proporciones de 1:1000⁽¹⁵⁾. Estos efectos, también van a depender de la forma en que sean aplicados estos extractos, pudiendo ser aplicados directamente al suelo, mediante aspersion foliar, por peletización a las semillas, tratamiento post-cosecha o por la combinación de algunos de ellos, siendo la combinación del tratamiento del suelo y la aspersion foliar el modo de aplicación más utilizado^(1,3,7,17-19,37). En esta última combinación, se enriquece el suelo con algunos componentes necesarios para lograr una adecuada germinación de las semillas y emergencia de las plantas, así como un mejor crecimiento inicial de las mismas y luego, la aplicación foliar beneficiará tanto el desarrollo vegetativo como reproductivo de las plantas, lo cual se puede traducir en una estimulación del rendimiento y una mejor calidad de la cosecha.

Entre los efectos de las algas y sus extractos, se encuentran; la estimulación de la germinación de las semillas^(15,38), el crecimiento de las plantas^(1,5,18,19,24,31) y la floración y el de retrasar la senescencia^(2,4). Por otra parte, estimulan el crecimiento de las raíces, adelantan la maduración de los frutos⁽⁴⁾, aumentan la tolerancia de las plantas a estrés abiótico como la salinidad, sequía, altas temperaturas y heladas y poseen efectos fortificantes^(2,4,15-23).

Las algas, también actúan en los procesos que desencadenan los mecanismos de defensa e inmunidad de las plantas^(3,7,26,39), reducen la infestación por nemátodos⁽⁴⁰⁾ e incrementan la resistencia a enfermedades fúngicas y bacterianas^(41,42); así como incrementa la resistencia al ataque de ácaros, pulgones, araña roja, mosca blanca, áfidos y nemátodos⁽¹⁵⁾. En estudios recientes, se ha demostrado el potencial de los extractos de algas para el control de diversos

tipos de hongos, ya que las plantas tratadas han aumentado su resistencia a enfermedades causadas por *Fusarium* sp., *Botrytis* sp., y *Alternaria* sp. ^(7,24,43).

Varios estudios han indicado que cuando se aplican las algas o sus derivados al suelo, sus enzimas provocan o activan en él reacciones de hidrólisis enzimáticas catalíticas reversibles; además, hidratan y reestructuran el suelo ^(1,17,20,24). A diferencia de los fertilizantes químicos, las algas liberan más lentamente el nitrógeno y son ricas en macro y microelementos ^(1,12-16); por lo que se han utilizado ampliamente como fertilizantes del suelo ^(6,12,44). También, se han empleado para reducir la cantidad de sodio intercambiable, lo que conduce a la recuperación de los suelos sódicos ⁽⁴⁵⁾.

Hay que destacar el efecto de las algas en diversos procesos fisiológicos de las plantas, tales como: la fotosíntesis ⁽²²⁾, la respiración y la movilización de nutrientes hacia los órganos vegetativos ^(39,46). Además, promueven la diversidad y acción microbiana en el suelo ^(1,9,12,17,20), creando así un medio adecuado para el desarrollo radical de las plantas ^(14,22,24).

Biofertilizantes a base de algas como alga enzimas, turbo enzimas y algarrot, aplicados al suelo y por vía foliar, a una plantación de vid (*Vitis vinifera*) cv Shiraz, incrementaron la tasa de asimilación del CO₂ y redujeron la tasa de evapotranspiración, lo que resultó en un incremento de la eficiencia del uso de agua y en la mejora de los frutos ⁽²⁷⁾.

Por otra parte, se ha demostrado que el tratamiento de plantas de arroz con algas verde-azuladas, incrementó la producción de los granos. En países como la India y el Sudeste Asiático, donde el arroz es el componente principal de la alimentación, la utilización de las algas como fertilizantes naturales se ha presentado como un método más que interesante ⁽⁴⁷⁾. Además, en condiciones de aniego, estas algas le proporcionan al suelo materia orgánica, vitalidad, productividad y fertilidad, mejora sus propiedades físicas y químicas y los microorganismos del suelo aumentan la capacidad de metabolizar el nitrógeno molecular, aumentan la liberación de parte del nitrógeno fijado y la solubilidad del fósforo insoluble ⁽³⁶⁾. En estudios realizados en maíz, con extractos de lípidos obtenidos a partir de microalgas se redujo la fertilización mineral y la productividad aumentó ⁽⁴⁸⁾.

En frutales, cereales, hortalizas de hojas y frutos, orquídeas y *Arabidopsis thaliana*, se constató un efecto bioestimulante, defensa frente a enfermedades (actúa como elicitador y estimula la síntesis de fitoalexinas), protección contra estrés salino, hídrico y térmico y aumento del rendimiento y en cítricos (aplicando en suelo además de la aplicación foliar),

estimuló la disponibilidad de azúcares, incrementó el tamaño de los frutos y mejoró su calidad e incrementó la longitud y el potencial osmótico del tallo ^(1,4,7,27).

Por otra parte, extractos orgánicos de algas marinas brasileñas mostraron actividad antifúngica contra la antracnosis de plátano y papaya ⁽⁴⁹⁾ y extractos acuosos y orgánicos de *Sargassum vulgare*, aplicados a diferentes concentraciones en tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.), mostraron una actividad antifúngica contra *Pythium aphanidermatum*, donde se observó la mayor actividad cuando se utilizó el extracto metanólico ⁽²⁶⁾.

El alga parda *Ascophyllum nodosum* es una de las más utilizadas en la agricultura a nivel internacional, lo cual puede deberse a su rica composición en alginatos, manitol, betaínas, polifenoles, oligosacáridos (laminaranos y fucanos), flavonoides, nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, hierro, magnesio, zinc, sodio y azufre) y aminoácidos ^(1,26,27,50) y al hecho de que esta alga abunda en las costas marinas. Entre los efectos alcanzados con esta alga se pueden citar:

1. El incremento de la masa y el tamaño del fruto, así como la aceleración de la fase de maduración por la aplicación de extractos de esta alga en kiwi ⁽⁵⁰⁾.
2. La estimulación del crecimiento y del consumo de calcio, potasio y cobre de las plantas, así como el incremento del tamaño, masa, la firmeza y la producción de frutos en el cultivo de la vid por la aplicación foliar de extractos de esta ^(1,51).
3. La promoción del crecimiento, del contenido de clorofilas, N, K, Fe, Mn y Zn en las hojas de plantas de manzana por la aplicación foliar de extractos de esta alga (2 mL L⁻¹) junto a aminoácidos (0,5 mL L⁻¹). Además, la producción de frutos incrementó con la aplicación del extracto solo y en combinación con los aminoácidos ⁽⁵²⁾.
4. El incremento del área foliar y del contenido de clorofilas, carbohidratos, nitrógeno y zinc en las hojas de plantas de melocotón por la aspersion foliar a una concentración de 4 mL L⁻¹ ⁽⁵³⁾.
5. El incremento del contenido total de fenoles, flavonoides totales e isotiocianatos totales en dos cultivares de brócoli por la aplicación de extractos de esta alga ⁽⁵⁴⁾.
6. La estimulación de la germinación y la disminución del tiempo de emergencia de las plantas en el cultivo de habichuela por la inmersión de semillas en un extracto de esta alga a una concentración de 0,8 mL L⁻¹ durante 15 minutos ⁽⁵⁵⁾.

7. La estimulación del crecimiento y el rendimiento de plantas de cebolla por las aplicación de un extracto de esta alga con una dosis de $2,5 \text{ g m}^{-2}$ ⁽⁵⁶⁾.
8. En cambio, las algas del orden de *Corallinales* (Coralinas), al presentar su composición rica en carbonatos, se han utilizado como acondicionadores de suelo, ya que corrigen el pH en suelos ácidos y aportan a su vez, numerosos elementos traza ⁽²⁴⁾.

En cuanto al alga *Acutodesmus dimorphus*, la aplicación de extractos celulares a las semillas en concentración de $0,5 \text{ g mL}^{-1}$ incrementó la velocidad de germinación; mientras que la aplicación foliar a una concentración de $3,75 \text{ g mL}^{-1}$ aumentó la altura de la planta y la cantidad de ramas y flores y la mezcla de 50 y 100 g con el suelo para macetas, 22 días antes del trasplante, estimuló significativamente el crecimiento y el número de ramas y flores ⁽⁵⁷⁾.

Características generales de la Spirulina y efectos de la aplicación en la agricultura

La Spirulina (*Arthrospira platensis*) es un tipo de alga verde-azul, que posee un gran interés en el campo de la biotecnología, siendo muy explotado su uso farmacéutico y como alimento humano y animal, debido a que se cultiva en muchos lugares del mundo por su alto valor nutricional ^(25,58).

La Spirulina tiene aproximadamente del 60 –70 % de su masa seca en proteínas con alta biodisponibilidad. Es el organismo terrestre y acuático de mayor contenido proteico y mejor aminograma y digestibilidad ⁽⁸⁾; por lo que es muy utilizada como fuente de aminoácidos para el hombre, los animales y para las plantas. Además, contiene ácidos grasos poliinsaturados esenciales y vitaminas ⁽²⁵⁾, así como xantinas, ficobiliproteínas ^(25,59), carbohidratos, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, hierro, manganeso, zinc ⁽⁶⁰⁾. Presenta también un alto contenido en vitaminas B12, B1, B2, B6 y E, biotina, ácido pantoténico, ácido fólico, inositol y niacina ⁽³⁹⁾, gran riqueza en α - y β carotenos ^(25,61), ficocianina, considerables cantidades de ácido α -linolénico (ácido graso poliinsaturado con diferentes efectos beneficiosos), una alta concentración de fitohormonas, oligoelementos, antioxidantes y polisacáridos, por lo tanto, es un complemento biológico excelente ⁽⁶²⁾. Además, se ha identificado en esta alga clorofila a, xantofilas y lípidos ⁽²⁴⁾.

Aplicación de la Spirulina y sus extractos en la agricultura

Con el devenir de la agricultura sostenible, el uso de la Spirulina ha ido aumentando con estos fines. Se ha demostrado que activa el sistema inmune de las plantas, generando mayores producciones, de mayor calidad y más resistentes a enfermedades y al estrés ambiental, así como una mayor germinación y un mayor enraizamiento cuando se aplica al suelo. Al comparar un fertilizante a base de Spirulina con un fertilizante químico, algunos autores han encontrado que a pesar de que este posee un contenido inferior de N-P-K, el fertilizante a base de esta alga estimula el crecimiento de los cultivos de manera similar al fertilizante químico, debido a que posee cantidades superiores de otros elementos (calcio, hierro, manganeso, zinc y selenio) que ayudan a moderar las cantidades de nutrientes requeridos por las plantas ⁽⁶⁰⁾. Además, extractos fenólicos de Spirulina se ha demostrado que presentan actividad antifúngica contra *Fusarium graminearum* ⁽⁶¹⁾.

Los efectos que la aplicación de Spirulina ha provocado en diferentes especies vegetales, han sido informados por diversos autores. Así, en *Amaranthus gangeticus*, se ha encontrado que la imbibición de las semillas y la aplicación foliar de extractos de Spirulina incrementaron los niveles de proteínas ⁽⁶²⁾ y de hierro en las plantas ⁽⁶³⁾. De igual forma, se informó que la imbibición de semillas de *Phaseolus aureus* y *Solanum lycopersicum* L., en extractos de esta especie, aumentó los niveles de Zn en las plantas ⁽⁶⁴⁾.

En la especie *Solanum melongena* L. la aplicación de un fertilizante comercial a base de Spirulina incrementó el rendimiento de las plantas sin afectar los niveles foliares de N, P, K y Na ni los indicadores de calidad del mismo ⁽⁶⁵⁾. La aplicación foliar de un fertilizante similar, mantuvo los indicadores de calidad de las plantas de *Lactuca sativa* L. después de la cosecha, preservando el contenido de sólidos solubles, acidez titulable, vitamina C, clorofila a y clorofilas totales ⁽⁶⁶⁾.

En habichuela, la aplicación foliar de un extracto acuoso estimuló el crecimiento, las concentraciones de clorofilas, nitrógeno, fósforo y potasio; así como la cantidad y calidad de las semillas ⁽⁶⁷⁾.

También se han informado los efectos de la combinación de extractos de Spirulina con otros biofertilizantes. Por ejemplo, en plantas de *Origanum vulgare* L., la combinación de extracto de Spirulina con un biofertilizante a base de bacterias estimularon significativamente el crecimiento, el rendimiento y la producción de aceites esenciales ⁽⁶⁸⁾; mientras que en plantas de *Solanum tuberosum* L. la combinación de extractos de *Chlorella vulgaris* y *Arthrospira*

platensis mejoraron las condiciones vitales de la producción de papa y de semillas híbridas en áreas de Hadúszobosló en la India ⁽⁴⁵⁾.

Los efectos mostrados están muy relacionados con la composición química de la Spirulina, la cual fue descrita anteriormente, y se conoce que los principios activos que ella posee como proteínas, aminoácidos y carbohidratos ejercen una gran influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas, el contenido de macro y microelementos, estimula la nutrición de las plantas y es utilizada además como agente biofortificante en algunos cultivos. La Spirulina posee, además, reguladores del crecimiento y antioxidantes que son capaces de incrementar la tolerancia de las plantas ante condiciones de estrés ambiental, entre otros.

En Cuba, la Spirulina ha sido ampliamente usada con fines farmacéuticos, cosméticos y nutricionales; sin embargo, esta microalga no ha sido prácticamente utilizada en la agricultura, a pesar de que se conoce su composición química y la influencia que su aplicación pudiera ejercer en el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como el beneficio que puede causar en los suelos por la cantidad y calidad de nutrientes que posee. Se conoce sobre algunas investigaciones puntuales realizadas con algunos biofertilizantes a base de Spirulina como, por ejemplo, el **CBFERT** ⁽³⁴⁾, así como un bioestimulante más reciente a base de Spirulina y Vinaza (Spirufert, producto en fase de registro), que se está evaluando su uso foliar en algunos cultivos (datos no publicados). Actualmente, se están realizando algunos estudios para optimizar las dosis, los momentos y el modo de aplicación de este bioestimulante; así como su interacción con otros bioestimulantes producidos en Cuba, con vistas a poder extender el uso del mismo en la agricultura.

Además, resultaría muy beneficioso para la agricultura cubana, el poder contar con extractos de esta cianobacteria y de otras algas marinas, que puedan ser aplicados tanto al suelo como a semillas y plantas, para no sólo estimular el crecimiento y el rendimiento, sino mejorar la calidad de las cosechas y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

CONCLUSIONES

- La utilización de las algas ofrece un gran beneficio para una agricultura sostenible y más respetuosa con el medio ambiente; ya que, ellas son productos naturales, que poseen una diversidad de sustancias que estimulan el crecimiento y el rendimiento de los cultivos; favorecen la actividad microbiana del suelo y mejoran la absorción de

nutrientes por las raíces. Además, otorgan a las plantas una eficaz resistencia al estrés abiótico, debido a que contienen sustancias con un alto poder antioxidante.

- Si se tienen en cuenta todos los resultados expuestos en esta revisión acerca de los efectos de las algas en la agricultura, la necesidad que existe de incrementar la sostenibilidad de la producción agrícola y estimular la resiliencia de los cultivos ante los efectos adversos asociados al cambio climático; se hace necesario, en Cuba, acelerar las investigaciones relacionadas con la aplicación de las algas y especialmente, de la *Spirulina* en la agricultura.

BIBLIOGRAFÍA

1. Battacharyya D, Babgohari MZ, Rathor P, Prithiviraj B. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*. 2015;30(196):39–48. doi:10.1016/j.scienta.2015.09.012
2. Crouch IJ, van Staden J. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. *Plant Growth Regulation*. 1993;13(1):21–9. doi:10.1007/BF00207588
3. Povero G, Mejia JF, Di Tommaso D, Piaggese A, Warrior P. A Systematic Approach to Discover and Characterize Natural Plant Biostimulants. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:435. doi:10.3389/fpls.2016.00435
4. Preston J, Inouchi Y, Shioya F. Acoustic classification of submerged aquatic vegetation. In: *Proceedings of the eighth european conference on underwater acoustics, ECUA*. 2006. p. 317–22.
5. Collins MB, Voulgaris G. Empirical field and laboratory evaluation of a real-time acoustic sea bed surveying system. *PROCEEDINGS-INSTITUTE OF ACOUSTICS*. 1993;15:343–343.
6. Lembi CA, Waaland JR. *Algae and Human Affairs*. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 1988. 375–70 p.
7. Renuka N, Guldhe A, Prasanna R, Singh P, Bux F. Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: current trends, prospects and challenges. *Biotechnology advances*. 2018;36(4):1255–73.
8. Soni RA, Sudhakar K, Rana RS. *Spirulina*—From growth to nutritional product: A review. *Trends in food science & technology*. 2017;69:157–71.

9. Oliveira DS, Nóbrega JS, Rocha RHC, Araújo JL, Guedes WA, de Lima JF. Produção, aspectos nutricionais e fisiológicos de alface sob adubação foliar com *Spirulina platensis*. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. 2017;12(1):41–7.
10. Van Walree PA, Tęgowski J, Laban C, Simons DG. Acoustic seafloor discrimination with echo shape parameters: A comparison with the ground truth. Continental Shelf Research. 2005;25(18):2273–93.
11. Biffard BR, Bloomer S, Chapman R, Preston JM. Single-beam seabed classification: direct methods of classification and the problem of slope. Boundary Influences in High Frequency Shallow Water Acoustics. 2005;227–32.
12. McHugh DJ. A guide to the seaweed industry. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2003 p. 105.
13. Rafiee H, Naghdi-Badi H, Mehrafarin A, Qaderi A, Zarinpanjeh N, Sekara A et al. Application of plant biostimulants as new approach to improve the biological responses of medicinal plants- A Critical Review. Journal of Medicinal Plants. 2016;3(59):6-39.
14. Rai A, Cherif A, Cruz C, Nabti E. Extracts from seaweeds and *Opuntia ficus-indica* Cladodes enhance diazotrophic-PGPR halotolerance, their enzymatic potential, and their impact on wheat germination under salt stress. Pedosphere. 2017;160:60333–3.
15. Calvo P, Nelson L, Kloepper JW. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant and soil. 2014;383(1–2):3–41.
16. Van Oosten MJ, Pepe O, De Pascale S, Silletti S, Maggio A. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 2017;4(1):5.
17. Khan W, Menon U, Subramanian S, Jithesh M, Rayorath P, Hodges D, et al. Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. Journal of Plant Growth Regulation. 2009;28(4):386–99. doi:10.1007/s00344-009-9103-x
18. Hong YP, Chen CC, Cheng HL, Lin CH. Analysis of auxin and cytokinin activity of commercial aqueous seaweed extract. Gartenbauwissenschaft: Germany. 1995.
19. López BC. Enzimas-algas: posibilidades de su uso para estimular la producción agrícola y mejorar los suelos. Terra Latinoamericana. 1999;17(3):271–6.
20. López BC. Uso de Derivados de Algas Marinas en la Producción de Tomate, Papa, Chile y Tomatillo. Coahuila, Palau: Bioquím S.A; 2001 p. 24.

21. Stirk WA, Tarkowská D, Turečová V, Strnad M, Van Staden J. Abscisic acid, gibberellins and brassinosteroids in Kelpak®, a commercial seaweed extract made from *Ecklonia maxima*. *Journal of applied phycology*. 2014;26(1):561–7.
22. Du Jardin P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*. 2015;196:3–14.
23. Tuhy L, Chowańska J, Chojnacka K. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth: review. *Chemik*. 2013;67(7):636–41.
24. Sharma HSS, Fleming C, Selby C, Rao JR, Martin T. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*. 2014;26(1):465–90. doi:10.1007/s10811-013-0101-9
25. Papadaki S, Kyriakopoulou K, Tzovenis I, Krokida M. Environmental impact of phycocyanin recovery from *Spirulina platensis cyanobacterium*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2017;44:217–23.
26. Ammar N, Jabnoun-Khiareddine H, Mejdoub-Trabelsi B, Nefzi A, Mahjoub MA, Daami-Remadi M. Pythium leak control in potato using aqueous and organic extracts from the brown alga *Sargassum vulgare* (C. Agardh, 1820). *Postharvest Biology and Technology*. 2017;130:81–93.
27. Zermeño-González A, Mendez-López G, Rodríguez-García R, Cadena-Zapata M, Cárdenas-Palomo JO, Catalán-Valencia EA. Biofertilización de vid en relación con fotosíntesis, rendimiento y calidad de frutos. *Agrociencia*. 2015;49(8):875–87.
28. Jeannin I, Lescure J-C, Morot-Gaudry J-F. The effects of aqueous seaweed sprays on the growth of maize. *Botanica marina*. 1991;34(6):469–74.
29. Crampon C, Boutin O, Badens E. Supercritical carbon dioxide extraction of molecules of interest from microalgae and seaweeds. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2011;50(15):8941–53.
30. e Silva A de S, de Magalhaes WT, Moreira LM, Rocha MVP, Bastos AKP. Microwave-assisted extraction of polysaccharides from *Arthrospira (Spirulina) platensis* using the concept of green chemistry. *Algal research*. 2018;35:178–84.
31. Norrie J. Aplicaciones prácticas de productos de algas marinas en la agricultura. *Terralia*. 2000;(15):26–31.

32. Pagnussatt FA, Del Ponte EM, Garda-Buffon J, Badiale-Furlong E. Inhibition of *Fusarium graminearum* growth and mycotoxin production by phenolic extract from *Spirulina* sp. *Pesticide biochemistry and physiology*. 2014;108:21–6.
33. Poblete Escanilla R. Plan de negocios para la fabricación y comercialización de un fertilizante biológico en base a algas marinas. Santiago de Chile: Universidad de Chile; 2006 p. 66.
34. Hurtado MG, Amador IQ, Acosta CR. Comparación química entre dos fertilizantes ecológicos de origen natural: CBFERT y BIOPLASMA. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*. 2002;33(1):11–3.
35. Verdelho-Vieira V. Resumen de evento. In: In Biostimulant Europe, [Internet]. Almería, España; 2016 [cited 30/042020]. Available from: <http://www.wplgroup.com/aci/event/biostimulants-europe/>
36. Painter TJ. Biofertilizers: exceptional calcium binding affinity of a sheath proteoglycan from the blue-green soil alga *Nostoc calcicola*. *Carbohydrate polymers*. 1995;26(3):231–3.
37. Grzesik M, Romanowska-Duda Z, Kalaji HM. Effectiveness of cyanobacteria and green algae in enhancing the photosynthetic performance and growth of willow (*Salix viminalis* L.) plants under limited synthetic fertilizers application. *Photosynthetica*. 2017;55(3):510–21.
38. El-Sheekh MM. Effect of crude seaweed extracts on seed germination, seedling growth and some metabolic processes of *Vicia faba* L. *Cytobios*. 2000;101(396):23–35.
39. Méndez G. Fertilización a base de extractos de algas marinas y su relación con la eficiencia del uso del agua y de la luz de una plantación de Vid y su efecto en el rendimiento y calidad del fruto [Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería en sistemas de producción]. [Saltillo Coahuila, México]: Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”; 2014. 51 p.
40. Featonby-Smith BC, Van Staden J. The effect of seaweed concentrate on the growth of tomato plants in nematode-infested soil. *Scientia Horticulturae*. 1983;20(2):137–46.
41. Kuwada K, Ishii T, Matsushita I, Matsumoto I, Kadoya K. Effect of seaweed extracts on hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and their infectivity on trifoliolate orange roots. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*. 1999;68(2):321–6.

42. Gupta V, Ratha SK, Sood A, Chaudhary V, Prasanna R. New insights into the biodiversity and applications of cyanobacteria (blue-green algae)—prospects and challenges. *Algal research*. 2013;2(2):79–97.
43. Navarro F, Forján E, Vázquez M, Toimil A, Montero Z, Ruiz-Domínguez M del C, et al. Antimicrobial activity of the acidophilic eukaryotic microalga *Coccomyxa onubensis*. *Phycological Research*. 2017;65(1):38–43.
44. Temple WD, Bomke AA. Effects of kelp (*Macrocystis integrifolia*) on soil chemical properties and crop response. *Plant and Soil*. 1988;105(2):213–22.
45. Víg R, Dobos A, Molnár K, Nagy J. The efficiency of natural foliar fertilizers. *Időjárás*. 2012;116(1):53–64.
46. Kamel HM. Impact of garlic oil, seaweed extract and imazalil on keeping quality of Valencia orange fruits during cold storage. *J. Hortic. Sci. Ornam. Plants*. 2014;6:116–25.
47. Paliwal C, Mitra M, Bhayani K, Bharadwaj SV, Ghosh T, Dubey S, et al. Abiotic stresses as tools for metabolites in microalgae. *Bioresource technology*. 2017;244:1216–26.
48. Maurya R, Chokshi K, Ghosh T, Trivedi K, Pancha I, Kubavat D, et al. Lipid extracted microalgal biomass residue as a fertilizer substitute for *Zea mays* L. *Frontiers in plant science*. 2016;6:1266.
49. Machado LP, Matsumoto ST, Jamal CM, da Silva MB, da Cruz Centeno D, Neto PC, et al. Chemical analysis and toxicity of seaweed extracts with inhibitory activity against tropical fruit anthracnose fungi. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014;94(9):1739–44.
50. Tanou G, Ziogas V, Molassiotis A. Foliar nutrition, biostimulants and prime-like dynamics in fruit tree physiology: new insights on an old topic. *Frontiers in plant science*. 2017;8:75.
51. Khan AS, Ahmad B, Jaskani MJ, Ahmad R, Malik AU. Foliar application of mixture of amino acids and seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract improve growth and physicochemical properties of grapes. *Int. J. Agric. Biol*. 2012;14(3):383–8.
52. Thanaa SM, Shaaban KM, Morsey MM, El-Nagger YI. Study on the effect of pre-harvest treatments by seaweed extract and amino acids on Anna apple growth, leaf mineral content, yield, fruit quality at harvest and storability. *International J. of Chem. Tech. Research*. 2016;9(5):161–71.

53. Al-Rawi WAA, Al-Hadethi MEA, Abdul-Kareem AA. Effect of foliar application of gibberellic acid and seaweed extract spray on growth and leaf mineral content on peach trees. *Iraqi Journal of Agricultural Science*. 2016;47(7-special issue):98–105.
54. Lola-Luz T, Hennequart F, Gaffney M. Effect on yield, total phenolic, total flavonoid and total isothiocyanate content of two broccoli cultivars (*Brassica oleraceae* var *italica*) following the application of a commercial brown seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*). *Agricultural and Food Science*. 2014;23(1):28–37.
55. Carvalho MEA, Castro PR de C, Novembre ADC, Chamma H. Seaweed extract improves the vigor and provides the rapid emergence of dry bean seeds. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 2013;13(8):1104–7.
56. Dogra BS, Mandradia RK. Effect of seaweed extract on growth and yield of onion. *International Journal of Farm Sciences*. 2012;2(1):59–64.
57. Garcia-Gonzalez J, Sommerfeld M. Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga *Acutodesmus dimorphus*. *Journal of applied phycology*. 2016;28(2):1051–61.
58. Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A. Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2006;101(2):87–96. doi:10.1263/jbb.101.87
59. Campanella L, Crescentini G, Avino P. Chemical composition and nutritional evaluation of some natural and commercial food products based on *Spirulina*. *Analisis*. 1999;27(6):533–40.
60. 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.
61. Pagnussatt FA, de Lima VR, Dora CL, Costa JAV, Putaux J-L, Badiale-Furlong E. Assessment of the encapsulation effect of phenolic compounds from *Spirulina* sp. LEB-18 on their anti-*fusarium* activities. *Food chemistry*. 2016;211:616–23.
62. Anitha L, Kalpana P, Bramari GS. Evaluation of *Spirulina platensis* as microbial inoculants to enhanced protein levels in *Amaranthus gangeticus*. 2016;11(15):1353–60.
63. Kalpana P, Sai Bramari G, Anitha L. Biofortification of *Amaranthus gangeticus* using *Spirulina platensis* as microbial inoculant to enhance iron levels. *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*. 2014;2:103–10.

64. Anitha L, Bramari GS, Kalpana P. Effect of supplementation of *Spirulina platensis* to enhance the zinc status in plants of *Amaranthus gangeticus*, *Phaseolus aureus* and tomato. *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 2016;7(6):289–99.
65. 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, Londrina*. 2016;37(6):3893–902.
66. Oliveira DS, Rocha RHC, da Silva Nóbrega J, Dias GA, de Lima JF, Guedes WA. Post-harvest quality of lettuce cv. Elba in relation to *Spirulina platensis* foliar applications. *Jaboticabal*. 2017;45(2):162–8.
67. Seif YIA, El-Miniawy SE-DM, El-Azm NAA, Hegazi AZ. Response of snap bean growth and seed yield to seed size, plant density and foliar application with algae extract. *Annals of Agricultural Sciences*. 2016;61(2):187–99.
68. Abd El-Wahab MA, Ellabban HM, WMA M. Combined effect of organic and biofertilizer on herb yield and essential oil production of *Origanum Vulgare* L. plants under sandy soil conditions. *J. Agric. Res. Kafr El-Sheikh Univ*. 2016;42(2):178–93.