



ARTÍCULO DE REVISIÓN

Potencial de las macroalgas marinas como bioestimulantes en la producción agrícola de Cuba

Potential of seaweeds as biostimulants in Cuban agricultural production

Adrian Alejandro Espinosa-Antón¹ , Rosalba Mireya Hernández-Herrera² , Mayelín González González¹ 

¹ Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, CP 54830

² Departamento de Botánica y Zoología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara, Calle Ramón Padilla Sánchez 2100, Col. Nextipac, Zapopan, Jalisco, México, CP 45110

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 30/11/2020
Aceptado: 29/04/2021

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no existir conflictos de intereses.

CORRESPONDENCIA

Adrian Alejandro Espinosa-Antón
aeanton@uclv.cu



RESUMEN

Reducir al mínimo el uso de agroquímicos y estimular el empleo de productos biológicos obtenidos de materias primas locales, constituye un reto para la agricultura moderna. Las macroalgas marinas son una valiosa fuente de carbohidratos, reguladores del crecimiento vegetal, macro y micronutrientes, vitaminas, aminoácidos, osmoprotectantes y antioxidantes. Se han utilizado desde la antigüedad como agroinsumos alternativos para mejorar las propiedades del suelo, la germinación de las semillas, el crecimiento y el rendimiento de las plantas, alcanzando cosechas productivamente superiores. En Cuba, las macroalgas marinas representan un recurso local económico, disponible y abundante en todo el litoral, caracterizado por una gran diversidad de especies. Su uso en la industria cubana se ha limitado principalmente a la extracción de ficocoloides, por lo que sus potencialidades como fertilizantes, bioestimulantes, acondicionadores de suelo y en la protección de los cultivos, han sido poco investigadas. El presente trabajo muestra una visión general y actualizada sobre la diversidad y composición química de las macroalgas marinas cubanas, con énfasis en aquellas especies y/o géneros con mayores posibilidades de utilización por su abundancia y disponibilidad de biomasa. Se discute sobre las perspectivas de los bioproductos derivados de macroalgas como alternativa para estimular la producción agrícola en el país, reducir la

aplicación de agroquímicos a los cultivos y producir alimentos más sanos. La información presentada es básica para impulsar estrategias efectivas en la agricultura cubana, fundamentadas en el uso de extractos de algas marinas.

Palabras clave: agricultura sostenible, biomasa, composición química, diversidad, extractos de algas

ABSTRACT

To minimize the use of agrochemicals and stimulating the use of the natural products obtained from local feedstocks constitutes a challenge for modern agriculture. Seaweeds are rich source of carbohydrates, plant growth regulators, macro and micronutrients, vitamins, amino acids, osmoprotectants, antioxidants and antimicrobial compounds. They have been used since ancient times as alternative agro-inputs to improve soil properties, enhance seed germination, plant growth and yield, obtaining productively superior harvests. In Cuba, the seaweeds represent an economic, available and abundant local resource throughout the coastline, characterized by a great diversity of species. Its use in Cuban industry has been limited mainly to the extraction of phycocolloids, so its potentialities such as biofertilizers, biostimulants, soil enhancement and for crops protection have been little used. This work shows an updated overview on the diversity and chemical composition of Cuban seaweed, with emphasis on those species and/or genera with greater possibilities of use due to their abundance and availability of biomass. The outlooks of macroalgae-derived products are discussed as an alternative to stimulate agricultural production in the country, to reduce the application of agrochemicals to crops and to produce healthier foods. This research is basic to promote effective strategies in Cuban agriculture, based on the use of seaweed extracts.

Keywords: sustainable agriculture, biomass, chemical composition, diversity, algae extract

INTRODUCCIÓN

Las macroalgas marinas son organismos fotoautótrofos, que usualmente se encuentran en zonas litorales fijadas al fondo del mar. Comprenden aproximadamente 10 000 especies, subdivididas en tres grupos o "phyla" de acuerdo a sus pigmentos fotosintéticos: algas verdes (phylum Chlorophyta), algas rojas (phylum Rhodophyta) y algas pardas (phylum Heterokontophyta, clase Phaeophyceae) (Suárez *et al.*, 2015). Constituyen un recurso natural aprovechado desde la antigüedad por comunidades costeras, las cuales cosechaban la biomasa algal de la orilla y la aplicaban directamente a los suelos agrícolas (Craigie *et al.*, 2011). Desde entonces, las macroalgas marinas y sus extractos se utilizan como alternativa de fertilización para evitar el uso excesivo de agroquímicos, obtener cosechas productivamente superiores, producir alimentos orgánicos y reducir la degradación del agroecosistema (Nabti *et al.*, 2017; López-Padrón *et al.*, 2020).

Diversas especies de macroalgas, principalmente las pardas, son ampliamente usadas como biofertilizantes, bioestimulantes, mejoradores de suelo o potenciadores metabólicos, en la producción en campo o en invernadero de diferentes cultivos como hortalizas, legumbres, granos, frutales y plantas ornamentales (Craigie *et al.*, 2011; Pérez-Madruga *et al.*, 2020). Los productos comerciales basados en estos recursos marinos pueden aplicarse en la agricultura de diversas formas: foliar, enmienda al suelo, imbibición de semillas, solución hidropónica, entre otras (Sharma *et al.*, 2014); mostrando una extensa gama de respuestas positivas que incluyen mayores tasas de germinación, desarrollo del sistema radicular, mejora de la absorción de nutrientes, incremento del área foliar y el contenido de clorofilas, aumento de la calidad de los frutos y prolongan la vida útil de los productos de poscosecha (Sharma *et al.*, 2014; Pérez-Madruga *et al.*, 2020; El Boukhari *et al.*, 2020). Igualmente promueven

la tolerancia a diferentes condiciones de estrés abiótico (Van Oosten *et al.*, 2017), e inducen respuestas fisiológicas en las plantas como mecanismos de protección frente a determinadas plagas y enfermedades (Hamed *et al.*, 2018).

Por estas razones, los extractos de algas marinas han ganado popularidad como tecnologías agrícolas alternativas a los insumos agropecuarios tradicionales y continúan atrayendo el interés de compañías privadas y de la comunidad científica internacional (Hernández-Herrera *et al.*, 2018; El Boukhari *et al.*, 2020).

Los efectos beneficiosos en las plantas de los productos algales, se atribuyen a su composición química diversa que incluye macro y micronutrientes, reguladores del crecimiento vegetal (auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico) y otros componentes de bajo peso molecular como betaínas, brasinoesteroides y poliaminas (Craigie *et al.*, 2011; Nabti *et al.*, 2017; Hernández-Herrera *et al.*, 2018). También poseen en mayores cantidades otros metabolitos únicos como los polisacáridos sulfatados (alginatos, carragenanos, laminaranos, fucoidanos, ulvanos) y sus oligosacáridos derivados, además de algunos polifenoles como los florotaninos (Craigie *et al.*, 2011; Salehi *et al.*, 2019; López-Padrón *et al.*, 2020).

En Cuba, las macroalgas marinas representan un recurso local abundante y disponible a lo largo de sus costas, caracterizado por una extensa diversidad de especies con más de 500 taxones infragenéricos descritos (Suárez *et al.*, 2015). El empleo de las macroalgas en la industria cubana ha quedado restringido fundamentalmente a la extracción de ficocoloides (agar y carragenanos) y a estudios descriptivos sobre sus propiedades antioxidantes y farmacéuticas (Vidal *et al.*, 2006; Castellanos *et al.*, 2012; Suárez *et al.*, 2015).

Los artículos publicados por Peña *et al.* (2018) y Maza *et al.* (2019) señalan el empleo de un producto comercial VIUSID agro® (empresa española Catalysis, S.L.) elaborado a base del alga parda *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis y utilizado como bioestimulante en diferentes cultivos de la región central del país con resultados significativos en los indicadores agroproductivos. Recientemente los autores cubanos López-Padrón *et al.* (2020) y Pérez-

Madruga *et al.* (2020) describen los beneficios de las algas para la agricultura, en función de hacer más eficiente los sistemas productivos y estimular la resiliencia de los cultivos ante los impactos del cambio climático. Aun cuando los estudios anteriores muestran resultados favorables, se desconoce registros de la elaboración de bioproductos a partir de macroalgas presentes en la plataforma insular cubana para uso agrícola.

Por tal motivo, el objetivo de este trabajo es mostrar una visión general del conocimiento actual de la diversidad y composición química de las algas marinas cubanas y el uso potencial de sus derivados en el sector agrícola como bioestimulantes del crecimiento de las plantas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para desarrollar el presente trabajo se realizó una investigación de tipo documental bibliográfica utilizando los buscadores Google Scholar (<http://scholar.google.com>) y Scielo (<http://scielo.org>). Se consultó la literatura científica publicada hasta la fecha por autores cubanos que incluyera en sus metadatos algunas de las siguientes combinaciones, tanto en inglés como en español, de palabras claves o *keywords*: macroalgas o algas marinas, biomasa, fitoquímica, composición química, estacionalidad, extractos de algas, arribazones, Cuba, promotor del crecimiento y producción agrícola. Además, se analizaron algunos de los artículos de revisión publicados en la Web of Science (<http://www.isiknowledge.com>) en los últimos 10 años, que abordaron el estado del arte relativo al uso de las macroalgas marinas en la agricultura. Se encontraron un total de 82 publicaciones científicas y se excluyeron de los análisis aquellos referidos exclusivamente a listas de especies, reportes de nuevas especies, estudios puramente ecológicos o ensayos de actividad farmacológica. Los datos mostrados en este trabajo corresponden a 30 fuentes bibliográficas comprendidas entre los años 1989 y 2020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversidad de macroalgas marinas en Cuba

Las algas en Cuba representan una parte significativa de su biodiversidad, con 1 814 especies descritas hasta el momento (Algae Base,

2020). Específicamente, las macroalgas marinas incluyen 579 especies, de las cuales 299 son rojas, 75 pardas y 205 verdes (Suárez *et al.*, 2015). Estas se distribuyen a lo largo de las nueve zonas marino-costeras de la plataforma cubana (Figura 1), según los resultados del “Taller de Eco-regionalización y clasificación de habitats marinos en la plataforma cubana” (Suárez *et al.*, 2015).

El 93 % de los taxones se concentran en la costa norte, debido al predominio en esta región de fondos arenosos y rocoso-arenosos, respecto a la costa sur (Suárez, 1989; Suárez *et al.*, 2015). En este sentido, las zonas Habana-Matanzas y Sabana-Camagüey exhiben los valores mayores en cuanto a riqueza florística, representadas con el 80 % y 60 % del total de taxones infragenéricos, respectivamente (Figura 1). Esto se debe a que la primera zona se ha estudiado desde el siglo XIX como resultado de una mayor concentración de ficólogos y centros de investigación en esta área. Mientras que, en la zona Sabana-Camagüey ha existido una gran intensidad de muestreo en las últimas dos décadas a partir de un proyecto financiado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), conjuntamente con el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés) (Suárez *et al.*, 2015). Así mismo, ambas zonas se caracterizan por tener

todos los sustratos y biotopos, con prevalencia de aquellos que mayor diversidad de macroalgas presentan (i.e., sustratos rocosos, arrecifes coralinos y manglares) (Suárez, 1989).

Según la distribución batimétrica, el 88 % de los taxones registrados de macroalgas marinas se encuentran en aguas mesolitorales y someras (0-15 m de profundidad), con predominio de las algas rojas, mientras que el resto se distribuye en aguas moderadas y profundas. Del total de taxones descritos, el 17 % de las especies son comunes y pueden ser abundantes en todas o en alguna zona de la plataforma del archipiélago cubano (Suárez *et al.*, 2015). Entre las algas más comunes y abundantes están los géneros de algas rojas (*Jania*, *Amphiroa*, *Galaxaura*, *Hypnea* y *Digenea*) y algas pardas (*Dictyopteris*, *Dictyota*, *Padina*, *Styopodium* y *Sargassum*) descritas en todas las zonas (Suárez *et al.*, 2015). Específicamente las especies de vida pelágica *Sargassum fluitans* Børgesen (Børgesen) y *Sargassum natans* (L.) Gaillon llegan todo el año a las costas cubanas y forman pequeñas o grandes afluencias de biomasa (Moreira *et al.*, 2006). Por último, las macroalgas verdes de distribución generalizada son los géneros *Ulva*, *Anadyomene*, *Cladophoropsis*, *Dictyosphaeria*, *Valonia*, *Caulerpa*, *Halimeda*, *Penicillus* y *Acetabularia* (Suárez *et al.*, 2015).

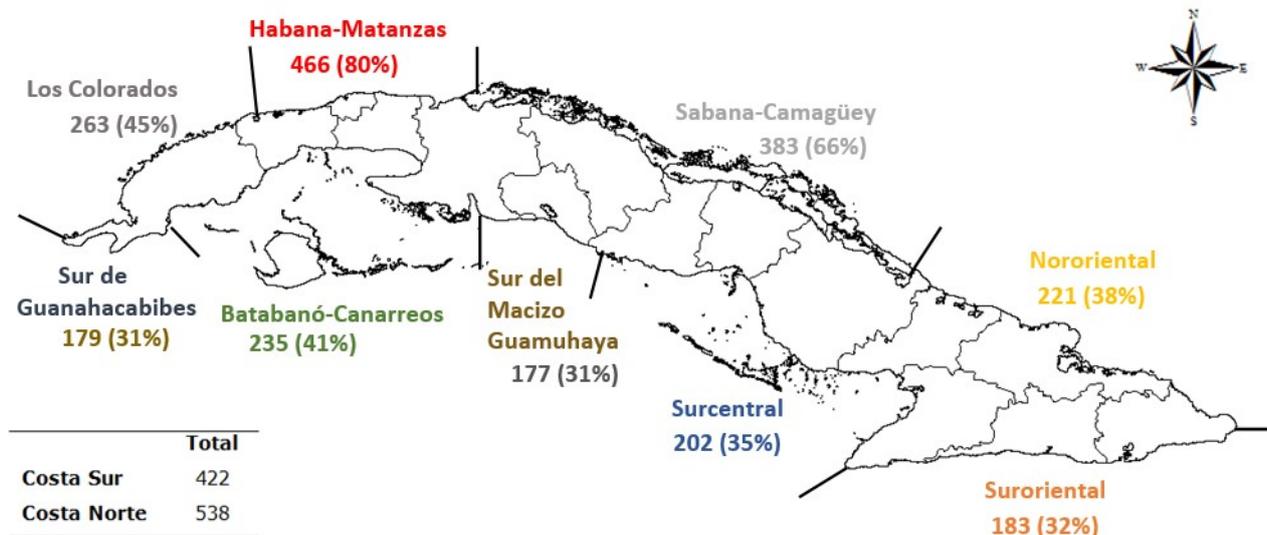


Figura 1. Taxones infragenéricos de macroalgas marinas por zonas de la plataforma cubana

Adaptado a partir de Suárez *et al.* (2015)

Composición química de las macroalgas marinas cubanas

Estudios bromatológicos realizados en algas marinas cubanas reconocen el elevado contenido de carbohidratos (que constituyen aproximadamente el 50 % de su masa seca), minerales y en menor cantidad de fibra, proteínas y lípidos (Tabla 1). La composición química de las macroalgas varía de acuerdo con la especie (Castellanos *et al.*, 2012; Zúñiga, 2012), sitio de cosecha (Cano-Mallo, 2008), condiciones ambientales como la estación del año, temperatura, salinidad, disponibilidad de luz y de nutrientes (Castellanos *et al.*, 2003; 2012; Cano-Mallo, 2008); además, según los procedimientos analíticos empleados para la extracción (López-Padrón *et al.*, 2020).

Los carbohidratos presentes en las macroalgas son principalmente polisacáridos complejos y con frecuencia enlazados a iones, los cuales no se encuentran en las plantas superiores. Estos polímeros naturales son abundantes en sus paredes celulares, esencialmente como sales de calcio, magnesio, potasio y sodio; otros son sulfatados y manifiestan amplio rango de bioactividad y aplicaciones industriales (Nabti *et al.*, 2017). Presentan una capacidad de

intercambio iónico fuerte por lo que son considerados agentes quelantes (Sharma *et al.*, 2014). Los polisacáridos básicos de la pared celular en las algas verdes son los ulvanos, en las algas rojas los agaranos y carragenanos; mientras que las algas pardas presentan alginatos y fucoidanos (Craigie *et al.*, 2011; Salehi *et al.*, 2019). Después de los carbohidratos y minerales, las proteínas son el componente molecular más abundante en las macroalgas; las cuales poseen en su estructura los nueve aminoácidos esenciales (Salehi *et al.*, 2019). Otros constituyentes relevantes son las vitaminas (B, C, E y K), reguladores del crecimiento vegetal y pigmentos fotosintéticos responsables de las distintas coloraciones (Craigie *et al.*, 2011; Sharma *et al.*, 2014; El Boukhari *et al.*, 2020).

También se han aislado numerosos metabolitos secundarios, donde las macroalgas rojas exhiben los mayores valores tanto en diversidad como en abundancia (Salehi *et al.*, 2019). El tamizaje fitoquímico de macroalgas cubanas comprueba la presencia de varias familias de metabolitos como: fenoles (taninos y no taninos), azúcares reductores, saponinas, mucílagos, triterpenos y/o esteroides (Castellanos *et al.*, 2003; 2012; González-Giro *et al.*, 2018). Estas moléculas no

Tabla 1. Composición bromatológica de algunas macroalgas marinas cubanas

Macroalgas	Carbohidratos (%)	Fibra cruda (%)	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)
Chlorophyta					
<i>Ulva fasciata</i> Delile ³	7,76-16,07	0,39-8,87	3,80-16,64	2,0-8,5	18,02-63,29
<i>Ulva lactuca</i> L. ⁴	49,2-68,9	7,6-27,4	5,9-18,38	nd	25,5-33,4
<i>Caulerpa paspaloides</i> (Bory) Greville ⁵	35,8	12,97	12,3	1,95	nd
Rhodophyta					
<i>Gracilaria blodgettii</i> Harvey ¹	53,4	4,57	9,60	0,02	32,40
<i>Laurencia intricata</i> J.V. Lamouroux ⁵	45,33	15,48	9,53	0,72	nd
<i>Euclima isiforme</i> (C. Agardh) J. Agardh ⁵	63,01	11,57	6,43	0,39	nd
<i>Bryothamnion triquetrum</i> (Gmelin) M.A. Howe ²	59,00	10,20	9,50	1,30	43,00
Phaeophyceae					
<i>Sargassum</i> spp. ⁵	53,02-67,92	11,42-12,15	6,89-7,61	0,06-0,95	nd
<i>Stypodium zonale</i> (J.V. Lamouroux) Papenfuss ⁵	66,84	17,77	6,74	1,84	nd
<i>Turbinaria turbinata</i> (L.) Kuntze ⁵	62,52	12,30	7,32	0,61	nd

Referencias: ¹ Castellanos *et al.*, 2003; ² Vidal *et al.*, 2006; ³ Cano-Mallo, 2008; ⁴ Díaz, 2010; ⁵ Zúñiga, 2012

Leyenda: nd, no determinado

solo cumplen importantes funciones celulares en las algas, sino que muestran propiedades biológicas en otros organismos, tales como las plantas y los animales (Craig *et al.*, 2011; Salehi *et al.*, 2019).

Los análisis de la composición mineral realizados por Castellanos *et al.* (2003); Vidal *et al.* (2006); Cano-Mallo (2008); Díaz (2010) y Zúñiga (2012), evidencian la riqueza en macro (K, N, Mg, Ca, Na) y/o micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Co, Ni) de las macroalgas cubanas (Tabla 2); elementos que son requeridos por las plantas para su óptimo crecimiento y desarrollo. La posibilidad del uso de productos basados en estos recursos naturales como fertilizantes orgánicos, puede considerarse una oportunidad para potenciar la actividad agrícola y la producción de alimentos con calidad nutricional.

Macroalgas cubanas con posibilidades de aprovechamiento como bioestimulantes

La manufactura comercial de bioproductos para uso agrario a partir de macroalgas cubanas, se sustenta en la utilización sostenible de su biomasa. En este sentido, los géneros *Sargassum* (Phaeophyceae, Fucales) y *Ulva* (Chlorophyta, Ulvales) representan los grupos de macroalgas más promisorios, debido a su disponibilidad de

biomasa durante todo el año, abundancia, accesibilidad y composición química (Moreira *et al.*, 2006; Cano-Mallo, 2008; Díaz, 2010; Zúñiga *et al.*, 2012).

En el caso específico del género *Sargassum* (Figura 2A y B) su explotación se fundamenta en la utilización de las grandes masas acumuladas anualmente en sectores de playas del país, como resultado del oleaje y las corrientes marinas. Estas afluencias de biomasa pueden alcanzar varias toneladas de alga fresca, siendo cuantiosas durante el invierno en la costa norte (media anual de 3 265 t) y durante el verano en la costa sur (media anual de 12 150 t) (Moreira *et al.*, 2006). Por su parte, el género *Ulva* (Figura 2C) suele ser abundante estacionalmente en las costas rocosas de la plataforma cubana (Suárez *et al.*, 2015). Los autores Cano-Mallo *et al.* (2008) y Díaz (2010) evaluaron la biomasa relativa y la composición química de especies del género *Ulva* presentes en las costas del país, aportando elementos cognoscitivos básicos para el manejo de las poblaciones naturales, con vistas a su posible explotación comercial. Además, García *et al.* (2012) reportan avances del cultivo intensivo en tanque de la especie *Ulva lactuca* y como resultado podrían producirse a bajo costo las cantidades suficientes de biomasa algal para la

Tabla 2. Contenido de minerales (mg kg⁻¹ peso seco) de macroalgas marinas cubanas (media ± DS)

Minerales	Macroalgas		
	<i>Ulva fasciata</i> ³ (Chlorophyta)	<i>Gracilaria blodgettii</i> ¹ (Rhodophyta)	<i>Bryothamnion triquetrum</i> ² (Rhodophyta)
K	3794,92 ± 2262,89	70521,3 ± 52556,00	63 900,00 ± 200,00
Ca	9202,21 ± 7279,35	1460,05 ± 424,33	6 600,00 ± 120,00
Na	nd	16496,00 ± 13276,78	31 250,00 ± 40,00
Mg	11709,43 ± 8274,60	4163,26 ± 105,01	2 900,00 ± 30,00
Zn	47,72 ± 32,76	21,2913 ± 14,3998	18,00 ± 1,5
Fe	774,17 ± 362,04	822,066 ± 78,51	200,00 ± 50,00
Cu	16,92 ± 9,09	4,4080 ± 0,43	20,00 ± 2,00
Mn	3,44 ± 1,35	23,336 ± 3,87	nd
Cd	3,01 ± 1,00	0,1293 ± 0,0352	0,20 ± 0,08
Ni	1,62 ± 1,41	nd	10,00 ± 5,00

Referencias: ¹ Castellanos *et al.* (2003); ² Vidal *et al.* (2006); ³ Cano-Mallo (2008)

Leyenda: nd, no determinado

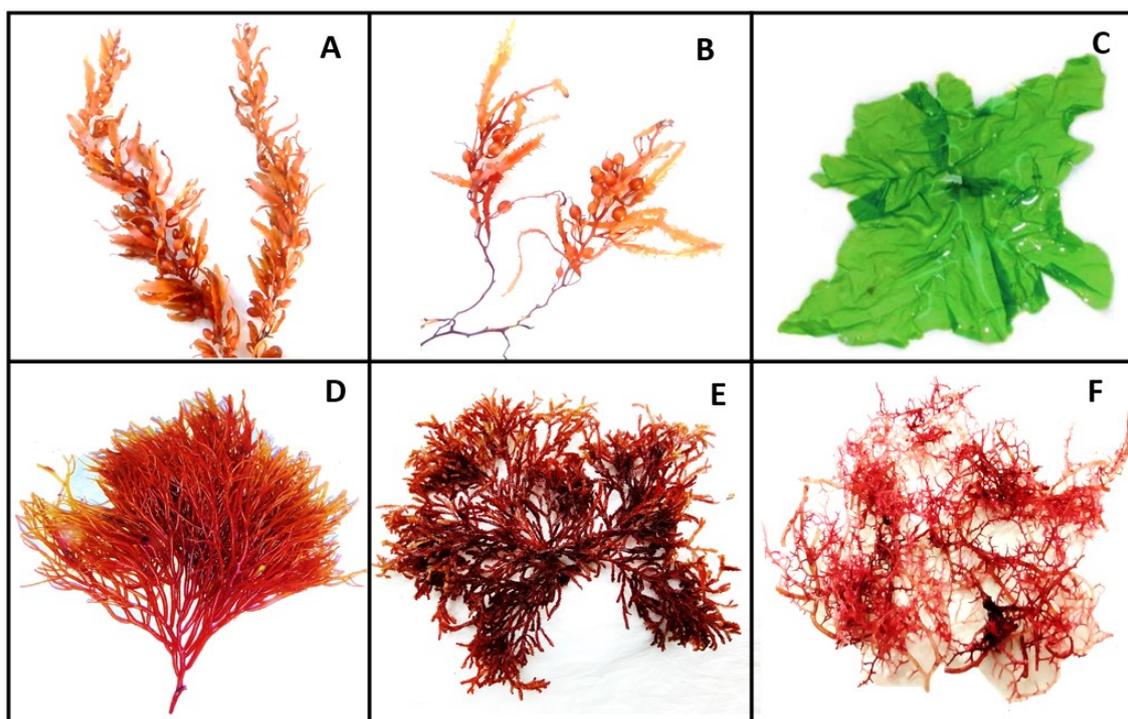


Figura 2. Macroalgas de la plataforma insular cubana con posibilidades de aprovechamiento en la agricultura.
A-B: *Sargassum* spp, C: *Ulva* sp., D: *Gracilaria* sp., E: *Bryothamnion* sp. y F: *Hypnea* sp.

obtención de productos naturales destinados al desarrollo de la agricultura local.

Otras macroalgas con posibilidades de cultivo son las algas rojas *Gracilaria* sp. (Figura 2D), *Bryothamnion* sp. (Figura 2E), *Hypnea* sp. (Figura 2F) y *Gelidiella* sp. (Suárez *et al.*, 2015). En este sentido, León *et al.* (2002) describieron algunas consideraciones para la explotación sostenida de *Gracilaria blodgettii* a partir de la caracterización ecológica y biológica de la especie en 15 bancos naturales de la Bahía de Cienfuegos. De acuerdo con los resultados del estudio, los cambios ambientales (principalmente las precipitaciones) provocaron variaciones en la producción de biomasa, razón que justifica el cultivo de esta alga como acción complementaria para su explotación sostenida con fines agroindustriales.

En general, las especies y/o géneros señalados anteriormente podrían considerarse en investigaciones futuras como productoras de sustancias biológicamente activas, con acción promotora del crecimiento de las plantas, fertilizantes, plaguicidas, nematocidas y microbicidas (Vidal *et al.*, 2006; Castellanos *et al.*, 2012). Además, el cultivo de macroalgas

(tanques, reactores, estanques o maricultivo) y el aprovechamiento de las afluencias de biomasa en las costas del país, son alternativas que evitarían la poda "in situ", fenómeno que en otros países del área ha provocado la desaparición y disminución en cifras alarmantes de este recurso marino (Moreira *et al.*, 2006).

Macroalgas marinas como insumos alternativos para la producción agrícola en Cuba

El desarrollo de una agricultura sostenible en el país ha llevado a la evaluación y aplicación de una amplia variedad de productos naturales o biológicos para estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas y obtener altos rendimientos (López-Padrón *et al.*, 2020). De ahí, que esta práctica se ha hecho frecuente y casi imprescindible en la mayoría de los cultivos de importancia económica (Maza *et al.*, 2019). En Cuba se utilizan bioestimulantes comerciales basados en extractos del alga parda *Ascophyllum nodosum* (Tabla 3), especie dominante en la zona intermareal de las costas del Atlántico Norte (Craigie *et al.*, 2011). Estos biopreparados son ricos en macro y micronutrientes, promotores del crecimiento vegetal, vitaminas, aminoácidos,

Tabla 3. Bioestimulantes basados en macroalgas marinas usados en la agricultura cubana

Nombre del producto	Composición	Funciones	Productor
MUDRA PREMIUM ¹	Extracto de algas <i>A. nodosum</i> , P, N, Cu, Mg, Mn, frutos Mo, Zn	A. Potencia el cuajado de los	QUÍMICAS MERISREM, S.L.
BULITEM CICLO CORTO ¹	Aminoácidos, Extracto de algas <i>A. nodosum</i> , P, N, K, Fe, Mn, Zn	Engorde de vegetales de tipo hortícolas	QUÍMICAS MERISREM, S.L.
CTA STYMULANT 4 ¹	Extracto de algas <i>A. nodosum</i> , Fe, Mg, Mn, N, Zn	A. Estimula el desarrollo vegetativo, resistencia al estrés, vigorización	QUÍMICAS MERISREM, S.L.
VIGORTEM S ¹	Ácidos húmicos, fúlvicos, Aminoácidos, Extracto de algas <i>A. nodosum</i> , N, P, K, Fe	Enraizamiento, y aporte de materia orgánica	QUÍMICAS MERISREM, S.L.
VIUSID agro ²	Extracto de algas <i>A. nodosum</i> , Fosfato potásico, Ácido málico, Arginina, Glicina, ascórbico, Piridoxal, fólico, Glicirricinato monoamónico, Sulfato de Zinc, Benzoato sódico y Sorbato potásico	A. Promueve el desarrollo vegetativo, estimula la germinación y la floración, inhibe la caída de las flores y aumenta el número de frutos, retarda o acelera la maduración de los frutos sin afectar su calidad	Catalysis, S.L.

Referencias: ¹Meristem (2020); ²Catalysis (2020)

polisacáridos, esteroides y betaínas (Peña *et al.*, 2018; Meristem, 2020).

En la UEB “Valle del Yabú”, Villa Clara, se emplean algunos de estos bioestimulantes elaborados y comercializados por la compañía española QUÍMICAS MERISREM, S.L. (Meristem, 2020). Se aplican generalmente como componente del sustrato o en fertirriego en casas de cultivo, con el propósito de potenciar la floración y el enraizamiento de cultivos hortícolas como tomate, pepino, pimiento, lechuga, entre otros. Estos bioinsumos importados han sido fundamentales para asegurar el suministro anual de hortalizas a la población y al sector turístico del territorio.

VIUSID agro[®] constituye otra de las formulaciones compuestas por el alga *A. nodosum* (15 %) utilizada como promotor del crecimiento vegetal en la producción de

diferentes cultivos en las provincias de Sancti Spíritus y Villa Clara (Peña *et al.*, 2018; Maza *et al.*, 2019). Este bioestimulante es manufacturado y comercializado por la empresa española Catalysis, S.L. en varios formatos (150 ml, 1, 5 o 25 l) para su aplicación mediante aspersión foliar o inmersión. La peculiaridad de VIUSID agro[®] es que todos sus componentes fueron sometidos a un proceso biocatalítico de activación molecular, lo cual mejora su actividad biológica y la reactividad bioquímica de todas sus moléculas (Catalysis, 2020). El producto se evaluó con resultados positivos en diversos cultivos de importancia económica, tales como tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), cebolla (*Allium cepa* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.). Las evaluaciones se realizaron en condiciones de campo y/o vivero (Peña *et al.*, 2018; Maza *et*

al., 2019).

Por estas razones, la obtención y formulación de productos como extractos líquidos y/o en polvo soluble a partir de macroalgas cubanas, contribuiría al desarrollo de la agricultura nacional y representaría un aporte a la sustitución de agroinsumos importados. Además, el empleo de extractos algales con fines agroproductivos, en lugar de usar la biomasa fresca o seca, proporcionaría diversas ventajas. Entre ellas destacan la reducción del tiempo requerido para estimular efectos beneficiosos en el Sistema suelo-planta y los bajos costos asociados a la elaboración y el transporte de biomasa desde los sitios de cosecha hasta las áreas cultivadas (Craigie *et al.*, 2011; Hernández-Herrera *et al.*, 2018).

Las macroalgas poseen un alto contenido de sales en forma de cloruros y/o sulfatos, algunas de las cuales son exudadas como cristales durante el proceso de secado (Nabti *et al.*, 2017). Por consiguiente, la aplicación de estos recursos marinos y sus productos derivados en combinación con fertilizantes inorgánicos y orgánicos podría evaluarse como estrategia para mejorar el estado nutricional del suelo y las plantas, alcanzando una producción agrícola estable. En este sentido, Castellanos *et al.* (2019) proponen un procedimiento para la obtención de cloruro de potasio (KCl) a partir de la macroalga roja *Gracilaria caudata* J. Agardh cosechada en la Bahía de Cienfuegos. La metodología propuesta permitió alcanzar un rendimiento de un 7 % de la sal con una pureza de un 92 %. Asimismo, se confirmó que condiciones ambientales como la humedad atmosférica durante el proceso de secado y la salinidad del ecosistema, determinaron el contenido de KCl (Castellanos *et al.*, 2019). No obstante, se requieren estudios posteriores que evalúen los efectos de la aplicación prolongada o excesiva de las macroalgas marinas en el desarrollo de suelos salinos, debido a los niveles elevados de sales minerales (Na⁺, Cl⁻, K⁺ y Ca²⁺) existentes en su composición.

La presencia de moléculas bioactivas como carbohidratos y promotores del crecimiento vegetal en los extractos de macroalgas (Craigie *et al.*, 2011; Salehi *et al.*, 2019), establece nuevas oportunidades para las biofábricas cubanas

dedicadas a la propagación masiva de plantas de interés económico. Entre otras razones, porque representan una opción para la sustitución parcial de la sacarosa como fuente de energía y los reguladores del crecimiento que tradicionalmente son empleados en estas biotecnologías. De esta forma, los compuestos con actividad estimulante obtenidos de macroalgas cubanas, podrían emplearse como suplemento en los medios de cultivo durante las fases de establecimiento "in vitro", multiplicación y/o enraizamiento, así como spray foliar en la fase de aclimatización (Hernández-Herrera *et al.*, 2018). También, varias investigaciones describen la optimización de protocolos de regeneración "in vitro", cuando se suplementa el medio de cultivo basal con pequeñas dosis de extractos de algas marinas (Vinoth *et al.*, 2019).

Por otro lado, compuestos fenólicos aislados de macroalgas pardas como el floroglucionol y sus derivados, así como extractos enriquecidos en polisacáridos, pudieran utilizarse para estimular procesos morfogénicos durante el cultivo "in vitro" como son el enraizamiento, la formación de brotes y la embriogénesis somática (Posada-Pérez *et al.*, 2016; Hernández-Herrera *et al.*, 2018).

Igualmente, los bioestimulantes basados en macroalgas marinas constituyen una opción económica para potenciar el rendimiento y la calidad nutricional de diferentes cultivos en campo, invernadero e "in vitro"; debido a su capacidad de estimular una amplia gama de respuestas beneficiosas en el sistema planta-suelo (Pérez-Madruga *et al.*, 2020). Además, el empleo de estas formulaciones en combinación con otros bioproductos disponibles en la red de comercialización del Ministerio de la Agricultura en el país, pueden resultar en efectos aditivos o sinérgicos en la productividad agrícola (López-Padrón *et al.*, 2020). Sin embargo, debido a la naturaleza química compleja de los extractos de algas marinas, es necesario evaluar los posibles efectos tóxicos que pueden manifestarse en cualquiera de las etapas del crecimiento y desarrollo vegetal, antes de su aplicación en campo (González-Giro *et al.*, 2018).

Finalmente, garantizar la soberanía alimentaria de la nación mediante la sustitución de los insumos importados y el empleo de los propios

recursos locales, constituye una línea estratégica del desarrollo socioeconómico (Peña *et al.*, 2018; Maza *et al.*, 2019). De esta manera, se necesitan nuevas tecnologías que aumenten el rendimiento y la calidad de los cultivos, así como conserven el agroecosistema (Pérez-Madruga *et al.*, 2020). En este contexto, los resultados científicos referidos con anterioridad, fundamentan el empleo de las macroalgas marinas como alternativa natural para alcanzar una productividad agrícola sostenible, reducir la aplicación de productos químicos a los cultivos y obtener alimentos saludables.

CONCLUSIONES

En países que prestan grandes extensiones de litoral, las macroalgas constituyen un recurso local económico, abundante y poco aprovechado como fuente de nuevos bioproductos para uso agrícola, destinados a incrementar el rendimiento, la calidad nutricional y la protección de diferentes cultivos. Especialmente las macroalgas marinas presentes en el litoral de Cuba tienen grandes perspectivas para el desarrollo de la agricultura urbana en zonas costeras. Por estas razones, deben impulsarse estudios científicos que evalúen sus bondades como bioinsumos alternativos para la biotecnología vegetal y la producción de plantas cultivadas, específicamente se recomienda la explotación de los géneros *Sargassum* y *Ulva* para la elaboración de extractos bioestimulantes del crecimiento vegetal. No obstante, otras especies de macroalgas cubanas con posibilidades de cultivo como *Gracilaria* sp., *Bryothamnion* sp., *Hypnea* sp. y *Gelidiella* sp., podrían considerarse en investigaciones futuras como productoras de ficocoloides y de metabolitos biológicamente activos.

CONTRIBUCION DE LOS AUTORES

Adrian Alejandro Espinosa-Antón: planificación de la investigación de tipo documental bibliográfica, aportes significativos en la concepción y diseño del trabajo publicado, redacción del borrador del manuscrito y corrección de los señalamientos realizados al mismo por los árbitros y el Consejo Editorial.

Rosalba Mireya Hernández-Herrera: aportes significativos en la concepción y diseño del trabajo, redacción del borrador y revisión crítica del manuscrito recomendando modificaciones, supresiones y adiciones en el mismo.

Mayelín González González: aportes significativos en la concepción y diseño del trabajo publicado, redacción del borrador del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- ALGAE BASE. 2020. Distribution of species by Country. Disponible en: <http://www.algaebase.org> Consultado el 17/9/2020.
- CANO-MALLO, M. 2008. Bases biológicas de *Ulva fasciata* Delile (Chlorophyta) para su posible explotación al oeste de La Habana, Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Biológicas, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.
- CASTELLANOS, M.E., LEÓN, A.R., MOREIRA, A.R. 2012. Caracterización fitoquímica de las macroalgas marinas *Gracilaria caudata*, *Ulva lactuca* y *Ulva flexuosa* de la Bahía de Cienfuegos, Cuba. *Boletín de la Sociedad Española de Ficología*, 46: 4-8.
- CASTELLANOS, M.E., LEÓN, A.R., MOREIRA, A.R. 2003. Caracterización química de la agarófita *Gracilaria blodgettii* Harvey en la Bahía de Cienfuegos, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 24 (3): 185-192.
- CASTELLANOS, M.E., MOREIRA, A.R., LEÓN, A.R. 2019. La Macroalga Roja *Gracilaria caudata* como fuente endógena de cloruro de potasio, en la Bahía de Cienfuegos, Cuba. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7 (1): 33-38.
- CATALYSIS. 2020. VIUSID agro, promotor del crecimiento vegetal. Disponible en: <https://www.catalysisagro.es> Consultado el 20/12/2020.
- CRAIGIE, J.S. 2011. Seaweed extracts stimuli in plant science and agriculture. *Journal of*

- Applied Phycology*, 23: 371-393.
- DÍAZ, P.M. 2010. Obtención de gas combustible mediante la bioconversión del alga marina *Ulva lactuca*. *Serie Oceanológica*, 7: 52-60.
- EL BOUKHARI, M.E.M., BARAKATE, M., BOUHIA, Y., *et al.* 2020. Trends in Seaweed Extract Based Biostimulants: Manufacturing Process and Beneficial Effect on Soil-Plant Systems. *Plants*, 9 (359): 1-23.
- GARCÍA, A., HERNÁNDEZ, J.P., FERNÁNDEZ, Y., *et al.* 2012. Evaluación de sistema experimental para el cultivo intensivo de macroalgas marinas. *Centro Azúcar*, 39 (3): 21-27.
- GONZÁLEZ-GIRO, Z., BATISTA-CORBAL, P.L., GONZÁLEZ-PÉREZ, Y., *et al.* 2018. Evaluación de la fitotoxicidad de un extracto acuoso del alga *Padina gymnospora* (Kützinger) sobre semillas de *Lactuca sativa* L. *Biotecnología Vegetal*, 18 (3): 181-188.
- HAMED, S.M., EL-RHMAN, A.A., ABDEL-RAOUF, N., *et al.* 2018. Role of marine macroalgae in plant protection & improvement for sustainable agriculture technology. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7: 104-110.
- HERNÁNDEZ-HERRERA, R.M., SANTACRUZ-RUVALCABA, F., BRICEÑO-DOMÍNGUEZ, D., *et al.* 2018. Seaweed as potential plant growth stimulants for agriculture in Mexico. *Hidrobiológica*, 28 (1): 129-140.
- LEÓN, A.R., CASTELLANOS, M.E. y MOREIRA, A. 2002. Algunas consideraciones para la explotación sostenida de la agarófita *Gracilaria blodgettii* Harvey de la Bahía de Cienfuegos. *Revista de Investigaciones Marinas*, 23 (3): 159-166.
- LÓPEZ-PADRÓN, I., MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, L., PÉREZ-DOMÍNGUEZ, G., *et al.* 2020. Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada. *Cultivos Tropicales*, 41 (2).
- MAZA, N.J., CABALLERO, M.W., RIVERA, C.M., *et al.* 2019. Influencia de VIUSID agro[®] en la producción de semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.). *Agricultura Tropical*, 5 (1): 1-11.
- MERISTEM. 2020. Productos Bioestimulantes. Disponible en: <http://quimicasmeristem.com/es/productos/bioestimulantes> Consultado el 20/11/2020.
- MOREIRA, L., CABRERA, R., SUÁREZ, A.M. 2006. Evaluación de macroalgas marinas del género *Sargassum* C. Agardh (Phaeophyta, Fucales). *Revista de Investigaciones Marinas*, 27 (2): 115-120.
- NABTI, E., JHA, B. y HARTMANN, A. 2017. Impact of seaweeds on agricultural crop production as biofertilizer. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 14 (5): 1119-1134.
- PEÑA, K., RODRÍGUEZ, J.C., OLIVERA, D., *et al.* 2018. Effect of the Growth Promoter VIUSID Agro on the Morphophysiological and Productive Performance of Tobacco Growth (*Nicotiana tabacum* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 8: 157-167.
- PÉREZ-MADRUGA, Y., LÓPEZ-PADRÓN, I. y REYES-GUERRERO, Y. 2020. Las Algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos. *Cultivos Tropicales*, 41 (2).
- POSADA-PÉREZ, L., PADRÓN-MONTESINOS, Y., GONZÁLEZ-OLMEDO, J., *et al.* 2016. Effect of phloroglucinol on rooting and *in vitro* acclimatization of papaya *Carica papaya* L. var. Maradol Roja). *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 52 (2): 196-203.
- SALEHI, B., SHARIFI-RAD, J., SECA, A.M., *et al.* 2019. Current Trends on Seaweeds: Looking at Chemical Composition, Phytopharmacology, and Cosmetic Applications. *Molecules*, 24 (4182): 2-49.

- SHARMA, H.S., FLEMING, C., SELBY, C., *et al.* 2014. 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*, 26 (1): 465-490.
- SUÁREZ, A.M. 1989. Ecología del macrofitobentos de la plataforma de Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 10 (3): 187-206.
- SUÁREZ, A.M., MARTÍNEZ-DARANAS, B. y ALFONSO, Y. 2015. Macroalgas marinas de Cuba. Editorial UH, La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-7211-44-0.
- VAN OOSTEN, M.J., PEPE, O., DE PASCALE, S., *et al.* 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4 (5): 1-12.
- VIDAL, A., FALLARERO, A., DE ANDRADE-WARTHA, E.R.S., *et al.* 2006. Composición química y actividad antioxidante del alga marina roja *Bryothamnion triquetrum* (S. G. Gmelin) Howe. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 42 (4): 589-600.
- VINOTH, S., GURUSARAVANAN, P., SIVAKUMAR, S., *et al.* 2019. Influence of seaweed extracts and plant growth regulators on *in vitro* regeneration of *Lycopersicon esculentum* from leaf explant. *Journal of Applied Phycology*, 31: 2039-2052.
- ZÚÑIGA, D. 2012. Macrofitobentos de interés nutricional en cayo Coco al norte de Ciego de Ávila, Cuba. *Serie Oceanológica*. 10: 54-61.



Artículo de libre acceso bajo los términos de una *Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional*. Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre que la obra sea debidamente citada.