Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, 56(2): 89-101 (2017); 3 Tabs.

USOS Y APLICACIONES DE LAS MACROALGAS MARINAS: UNA REVISIÓN

Emily Montoya Rosas*, Yuraima García & Carlos Lira

Universidad de Oriente, *Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar*, *Nueva Esparta*, *Venezuela*

**E-mail*: *emilymontoya03@gmail.com*

RESUMEN: Las macroalgas marinas son organismos fotosintéticos. Se agrupan principalmente en tres phyla: Chlorophyta, Ochrophyta y Rhodophyta. Estas algas son empleadas en Asia, constituyen alternativas en la alimentación humana como ingredientes habituales de ciertos tipos de ensaladas, sopas, confituras y cereales, esta tradición ha emigrado a otros países. También han sido empleadas como abono, forraje, medicinas, obtención de sales, fabricación de papel, extracción de ficocoloides, elaboración de cosméticos, entre otros usos. La pared celular de algunas especies de algas rojas y pardas contienen hidrocoloides que poseen muchas aplicaciones como agentes espesantes y formadores de gel, dentro de los principales ficocoloides se encuentran los alginatos, la carragenina y el agar. El cultivo y recolección de macroalgas, la extracción de ficocoloides y la elaboración de productos a base de extractos de algas marinas generan ingresos y beneficios para los países que realizan estas actividades.

Palabras claves: macroalgas, usos, ficocoloides, cultivos.

ABSTRACT: Marine macroalgae are photosynthetic organisms. They are classified mainly in three phyla: Chlorophyta, Ochrophyta and Rhodophyta. These algae are commonly used in Asia where they are considered alternative sources in human nutrition in certain types of salads, soups, sweets and cereals. This tradition has been introduced into another countries outside the continent. Marine macroalgae have also been used as fertilizer, fodder, medicines, source of salts and minerals, paper production, phycocolloids extraction, cosmetics, among other uses. The cultivation and harvesting of macroalgae, the extraction of phycocolloids and the manufacture of products based on seaweed extracts generate income and benefits for the countries that are involved in these activities.

Key words: macroalgae, uses, phycocolloids, farming.

INTRODUCCIÓN

Las macroalgas marinas se agrupan principalmente en tres Phylum: Chlorophyta, Ochrophyta y Rhodophyta. Las Chlorophyta presentan clorofila a y b, la pared celular está constituida por celulosa y puede presentar carbonato de calcio, actualmente están integradas en 6507 especies. Las Ochrophyta presentan clorofila a y c, junto con xantófila y carotenos que enmascaran la clorofila, se encuentran principalmente en aguas frías y están conformadas por 4141 especies. Las Rhodophyta poseen clorofila a y d, ficoeritrina, a veces ficocianina, xantofila y carotenos, este Phylum está integrado por 7088 especies (Guiry & Guiry 2018). Las algas además de desempeñar un papel ecológico importante como productores primarios de los ecosistemas donde habitan (Werlinger 2004), son aprovechados por el hombre como alimentos, forrajes, fertilizantes, medicinas, fuente de minerales, obtención de sales y ficocoloides (Bula-Meyer 1988). Las macroalgas también llamadas "las verduras del mar" son un alimento de alto valor nutritivo que proporcionan gran cantidad de vitaminas y minerales (Bradford 2000; Gómez 2013). Presentan compuestos bioactivos con potencial biomedicinal, con propiedades anticoagulantes, antioxidantes, antivirales, antibacterianas, citotóxicas y otras (Mascheck & Baker 2008). Las paredes celulares de estos organismos contienen ficocoloides que les proporcionan flexibilidad, permitiéndoles adaptarse a los movimientos de las aguas en las que crecen, los cuales tienen muchas aplicaciones en la industria como agentes espesantes y formadores de gel (Mchugh 2002).

Los productos derivados de las macroalgas marinas ha tenido éxito en la industria y por esto la demanda se ha incrementado de tal forma que los países con costas marinas han dado inicio al cultivo de las especies comerciales (Bula-Meyer 1988). De acuerdo a las estadísticas de la FAO (Valderrama *et al*. 2013), en 1980 se cosecharon 4 millones de toneladas de macroalgas marinas aumentando considerablemente en el año 2010 a

20 millones de toneladas. En el año 2014 esta producción aumentó considerablemente a 27,3 millones de toneladas húmedas procedente principalmente de la maricultura de cinco (5) países, y con un valor estimado de 5.600 millones de USD (FAO 2016).

Gracias a la buena remuneración proveniente del cultivo y extracción de macroalgas, muchas comunidades costeras han adoptado esta actividad como principal fuente de ingresos, países latinoamericanos como Chile, Argentina, Brasil, Colombia, Cuba, Ecuador, México y Perú han experimentado esta actividad ya sea para fines de extracción de ficocoloides o elaboración de diversos productos (Mchugh 2002). Venezuela también se ha incorporado al desarrollo de proyectos para el aprovechamiento de este recurso, no obstante, las experiencias realizadas no han sido suficientes, no ofrecen buenos resultados y no han generado suficiente data, por esta razón se recopila información referente a las actividades comerciales relacionadas con las macroalgas marinas la cual permita a las comunidades conocer los usos, aplicaciones y beneficios relacionadas a esta actividad.

MACROALGAS MARINAS COMO RECURSO ALIMENTICIO HUMANO

Muchas poblaciones costeras consumen algas marinas, unas veces como parte de formas de vida basadas en una economía de subsistencia y otras como ingrediente habitual de ciertos tipos de ensaladas, entremeses, sopas, confituras y cereales. Según Quitral *et al*. (2012) las macroalgas son un recurso abundante, económico y atractivo para utilizar como ingrediente en la preparación de alimentos.

Según Villarreal (1995) la tradición de consumir algas procede de Asia, el crecimiento de la demanda durante los últimos 50 años ha superado la capacidad de la oferta procedente de las reservas naturales (FAO 2004). La composición química de las algas marinas depende de la especie, lugar de cultivo, condiciones ambientales (luz, nutrientes y salinidad), hábitat y periodo de recolección (García *et al*. 2010). Según Gómez (2013) son más ricas en minerales y carbohidratos que en proteínas y grasas. Poseen alto contenido en fibra alimentaria (33-50% peso seco), proteínas (pardas 5-24%; rojas y verdes 10-47%), minerales (8-40%), y bajo contenido lipídico (1-2%), además son bajas en calorías. Por la presencia de minerales y oligoelementos son de gran importancia en la dieta humana (Bula-Meyer 1988). Tienen mayor cantidad de vitaminas que la carne de ganado vacuno, a excepción de la vitamina B12, la cual sin embargo también se presenta en altas cantidades. La concentración de yodo es muy variable pero es mayor en las pardas, seguidas de las rojas y verdes. La concentración de aminoácidos libres son los responsables del sabor dulce que presentan (Villarreal 1995).

Según Quitral *et al*. (2012) las proteínas de las algas son ricas en aminoácidos glicina, arginina, alanina y ácido glutámico, contienen aminoácidos esenciales para el hombre en niveles comparables a los que indica la FAO/OMS. En las algas rojas se encuentra el aminoácido libre taurina, necesario en mayor cantidad durante la infancia que durante la adultez, siendo la leche materna la fuente principal para el ser humano durante sus primeros meses de vida. Los alimentos de origen marino son mejores fuentes de taurina que los alimentos terrestres.

Las macroalgas son excelentes fuentes de vitaminas A, B1, B2, B3, B5, B9, B12, C, D, E y de los ácidos grasos de cadena larga eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA). Dentro de los macrominerales se incluyen el sodio, calcio, potasio, cloro, azufre y fósforo. Los géneros *Porphyra*, *Ulva* y *Alaria* contienen vitamina C en concentraciones similares al limón (Villarreal 1995). Una porción de 100 g de *Ulva lactuca* aporta aproximadamente 257 mg de calcio, semejante al aporte del queso. Entre los microminerales se incluyen el yodo, hierro, zinc, cobre, selenio, molibdeno, flúor, manganeso, boro, níquel y cobalto (García *et al*. 2010).

Según García *et al*. (2010) las algas *Porphyra*, *Gracilaria*, *Caulerpa*, *Laurencia* y *Ulva* son consideradas como fuente de vitamina B12, es por eso que las algas y en particular las que poseen altos contenidos de esta vitamina son recomendadas en el tratamiento de efectos asociados al envejecimiento, síndromes de fatigas crónicas y anemias.

La proporción de fibra dietética en las macroalgas es elevada, puede variar de 36 a 60%, el promedio calculado para la fibra soluble es 24,5 g/100 g y para la fibra insoluble es 21,8 g/100 g, siendo mucho mayor que la cantidad de fibra encontrada en frutas y verduras, esta gran proporción reduce la glicemia y el colesterol en el plasma (Quitral *et al*. 2012).

En relación a su importante contenido de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales, las algas marinas pueden ser un factor significativo en la nutrición humana. Por sus colores, sabores y variedad en texturas, las algas pueden hacer más interesante y variable la dieta humana (Bula-Meyer 1988). En la Tabla 1 se muestra una lista de los géneros de macroalgas comestibles comunes.

Tabla 1. Algunos géneros de macroalgas marinas comestibles.

Phyllum	Género	Phyllum	Género
Rhodophyta	*Chondrus*	Ochrophyta	*Dictyota*
	Caloglossa		*Alaria*
	Catenella		*Durvillaea*
	Gelidium		*Undaria*
	Gelidiella		*Sargassum*
	Hypnea		*Laminaria*
	Eucheuma		*Padina*
	Gracilaria		*Ascophyllum*
	Grateloupia	Chlorophyta	*Ulva*
	Halymenia		*Codium*
	Porphyra		
	Gelidium		
	Acanthophora		

MACROALGAS EN LA MEDICINA Y FARMACOLOGÍA

Los estudios sobre la química de productos naturales marinos han estado dirigidos principalmente al descubrimiento de nuevas sustancias con valor farmacéutico. Las algas e invertebrados marinos constituyen fuentes ricas en diversos compuestos bioactivos, cuyo potencial farmacológico continúa en expansión. Numerosas revisiones señalan a las algas como principales productores de compuestos bioactivos, en algunos casos con estructuras moleculares no encontradas en otros organismos, con posibles usos antibacterianos, anticancerígenos, cardiotónicos, antivirales, antitumorales, antiinflamatorios y anticoagulantes (Tabla 2) (Freile 2001; Ondarza & Rincones 2008). Las sustancias con efectos medicinales extraídas de algas marinas han recibido poca atención ya que la mayoría de los estudios han sido enfocados a la taxonomía, ecología y distribución de estos organismos (García *et al*. 2010).

El uso de las macroalgas para curar o prevenir problemas médicos es extenso en ciertas regiones, especialmente en Asia pueden usarse como vermífugos, anestésicos, antipiréticos, antitusígenos, para tratar las erupciones de la piel, el mal de gota, cálculos biliares, bocio, hipertensión, diarrea, disentería, quemaduras, enfermedades de la piel, pulmones, mejorar la calidad de la descarga seminal, etc. Los Romanos utilizaron las algas para curar heridas, quemaduras y erupciones de la piel, los Ingleses emplearon algas del género *Porphyra* para prevenir el escorbuto en los largos viajes y *Chondrus* para tratar desórdenes internos. Las algas rojas *Chondrus*, *Gracilaria*, *Gelidium* y *Pterocladia* han sido usadas en los tratamientos de malestares intestinales como constipación, indigestiones y úlceras (Bula-Meyer 1988).

Aparte de sus componentes nutritivos, las algas contienen compuestos bioactivos como carotenoides y polifenoles con actividades antioxidantes, anticancerígenas y antiinflamatorias. Dentro de los pigmentos naturales de las algas pardas se destaca la fucoxantina, diversos autores han demostrado que tiene efectos antioxidantes, anticancerígenos, antiinflamatorios, adelgazantes, neuroprotectores, fotoprotectores y preventivo de la osteoporosis. Existe gran interés científico por las propiedades de los polifenoles en la prevención de enfermedades relacionadas con el envejecimiento, enfermedades cardiovasculares y cáncer (Quitral *et al*. 2012). Por otra parte, el mayor porcentaje de los polisacáridos presentes en las algas (91%) no son digeridos por las enzimas del tracto gastrointestinal humano por lo que pueden ser considerados fibras dietéticas que favorecen el tránsito intestinal, la limpieza del sistema digestivo y la protección de la mucosa intestinal (Nisizawa 2006).

Según García *et al*. (2010) las algas presentan proteínas que poseen efectos farmacológicos. Los compuestos peptídicos de *Laminaria angusta*, *Porphyra yezoensis* y *Undaria pinnatifida* tienen efectos hipotensores, otros estudios han revelado que las ficobiliproteínas extraídas de las algas pardas (fucoxantina) y de las rojas (ficoeritrina) podrían ser beneficiosas en la prevención o tratamiento de enfermedades neurodegenerativas causadas por el estrés oxidativo (Alzheimer y Parkinson). En las algas rojas predominan los ácidos grasos esenciales como el ácido eicosapentanoico (ω3) y el ácido araquidónico (ω6) (Burtin 2003) los cuales inhiben la coagulación y la función plaquetaria, modifican favorablemente los niveles de óxido nítrico, ejercen acciones antiinflamatorias, mejoran la reactividad vascular y reducen los niveles de triglicéridos y lipoproteínas de muy baja densidad, además presentan efectos reguladores de la respuesta inmune y la presión arterial (García *et al*. 2010).

Las macroalgas marinas son productoras de algunas sustancias bioactivas cuyo efecto antibacteriano depende de la especie y de la extracción eficiente de los mismos (González *et al*. 2001). Según la FAO (2004), se ha demostrado actividad antiviral de los extractos de varias algas en experimentos *in vitro* y en animales pero con pocos

Tabla 2. Propiedades de algunas macroalgas marinas (Charzeddine & Fariñas 2001; Freile 2001; Lima *et al*. 2002; García *et al*. 2010).

Propiedad	Especie	Bacteria inhibida
Antibacteriana	*Derbesia vaucheriaeformis*	*Bacillus cereus*
	Hypnea musciformis	*Staphylococcus aureus*
	Halymenia gelinaria	*Salmonella enteritidis*
	Palisada perforata	*Enterobacter aerogenes*
	Ulva fasciata	*Bacillus subtilis*
	Acanthophora sp.	*Klebsiella pneumoniae*
	Amansia multifidica	*Pseudomonas. aeruginosa*
	Bryothamnion triquetrum	*S. aureus*
	Caulerpa mexicana	*Salmonella typhi*
	Codium decorticatum	*Vibrio cholerae*
	Gelidium sp.	
	Gracilaria sp.	
	Halimeda incrassata	
	Ulva sp.	
Anticancerígeno	*Ecklonia byciclis*	
Anticoagulante	*Ecklonia cava*	
	Padina gymnospora	
	Sargassum fulvellum	
Antiinflamatoria	*Porphyra dentata*	
	Vidalia obtusiloba	
	Turbinaria ornata	
	Ulva lactuca	
Antiinflamatorio y analgésico	*Bryothamnion seaforthii*	
	Bryothamnion triquetrum	
Antitumoral	*Sargassum ringgoldianum*	
	Sargassum stenophyllum	
	Sargassum thunbergii	
	Ulva lactuca	
	Undaria pinnatifida	
	Sargassum macrocarpum	
	Undaria pinnatifida	
Antiviral	*Sargassum stenophyllum*	
Hemaglutinante	*Derbesia vaucheriaeformis*	
	Hypnea musciformis	
	Halimeda opuntia	
	Ulva fasciata	
Neuroprotectora	*Bryothamnion triquetrum*	

progresos en los ensayos con humanos. Dentro de estos bioactivos se menciona el "Carraguard", una mezcla de carrageninas similares a las extraídos de *Chondrus crispus*, la cual es eficaz contra el Virus de la Inmunodeficiencia Humana (VIH) *in vitro* y contra el Herpes Simple virus-2 (HSV-2) en animales, además se ha demostrado actividad antiviral de los extractos del alga parda *U. pinnatifida* que tienen efecto contra el VIH y el cáncer.

Las algas sintetizan polisacáridos como los alginatos, las carrageninas, los fucoidanos, laminaranos, porfiranos y ulvanos que son capaces de reducir la absorción de colesterol en el intestino, produciendo respuestas hipocolesterolémicas e hipolipemiantes en el organismo (Panlasigui *et al*. 2003). Algunos polisacáridos sulfatados sintetizados por especies de algas rojas tienen actividad antiviral hacia agentes responsables de enfermedades infecciosas humanas tal es el caso de un galactano sulfatado obtenido a partir de *Agardhiella tenera* (*Agardhiella subulata*) y *Nothogenia fastigiata*, ambos tienen actividades contra el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH), el virus del herpes simplex (HSV) y los virus respiratorios sincitiales tipos I y II (VSR). Estos polisacáridos son activos durante la primera etapa de la replicación del ARN del virus cuando es absorbido en la superficie de la célula (Ondarza & Rincones 2008). También se encuentran los polisacáridos sulfatados a partir de *Schizymenia pacifica*, el cual inhibe la transcriptasa reversa del VIH in vitro en una etapa tardía de la replicación del VIH, con un efecto mínimo en el ADN humano y la actividad en el ARN polimerasa. Igualmente, un galactano sulfatado de *Gracilaria corticata*, tiene propiedades antivirales contra el VIH tipo 2, debido a que inhibe la unión del virus en la célula del huésped (Mazumder *et al*. 2002).

Las carrageninas tienen actividad antiviral, la D/iota-carragenina obtenida a partir de *Gigartina skottsbergii* tiene potenciales efectos antivirales contra VIH tipos 1 y 2 durante la etapa de absorción del virus (Cáceres *et al*. 2000). Existen también fracciones de polisacáridos que aún no han sido caracterizados que tienen alta actividad antiviral contra el virus VIH tipo 2 con bajos niveles de citotoxicidad, obtenidos a partir de *Caulerpa* sp., *Corallina* sp., *Hypnea charoides*, *Padina arborescens* y *Sargassum patens* (Zhu *et al*. 2003).

Los fucoidanos son una clase de polisacáridos compuestos de fucopiranosa y sulfato natural, los cuales tienen un amplio espectro de actividad en los sistemas biológicos como actividad anticoagulante, antitrombótica, antiinflamatoria. Se ha encontrado que ciertos fucoidanos y carrageninas poseen capacidad antiviral y microbicida vaginal contra herpes genital en ratones, por lo tanto, son buenos candidatos para un futuro desarrollo de productos vaginales con dichas propiedades (Ondarza & Rincones 2008). Los fucoidanos mejoran el sistema inmunológico pues tienen la capacidad de estimular a los macrófagos que fagocitan las células dañadas y antígenos infecciosos, además de poseer actividad antioxidante (Coombe *et al*. 1987).

Otros compuestos que presentan actividad hipolipemiante son los encontrados en extractos etanólicos de las macroalgas *Solieria robusta*, *Colpomenia sinuosa*, *Spatoglossum asperum* y *Caulerpa racemosa*, debido a que se ha demostrado que disminuyen el colesterol total en el suero y los niveles de triglicéridos y lipoproteínas de baja densidad en ratas (Ara *et al*. 2002). Los terpenoides halogenados sintetizados por una gran variedad de especies de algas son útiles en el hogar, la industria y la acuacultura ya que también son tóxicos para helmintos, insectos, mosquitos y cucarachas (Ondarza & Rincones 2008)

MACROALGAS EN COSMÉTICA

Las diferencias en la configuración de las carrageninas son responsables de sus propiedades como agentes espesantes, gelificantes y estabilizantes que han permitido su aplicación en cosmetología (Pereira & Van De Velde 2011). Los alginatos y las carrageninas pueden mejorar las propiedades del producto relacionadas con la retención de la humedad de la piel (McLachlan 1985).

Las algas pertenecientes a los órdenes Gelidiales, Gracilariares, Laminariales y Fucales son usadas para la elaboración de productos cosmetológicos, entre alguna de las especies más empleadas tenemos a *Fucus* spp., *Chondrus crispus*, *Mastocarpus stellatus*, *Eucheuma* spp., etc. Los productos a base de extractos de algas son estables, de fácil aplicación y absorción, refrescantes e hidratantes (Bula-Meyer 1988).

Actualmente existe una tendencia hacia el desarrollo del mercado en la industria y a la fabricación de cosméticos con extractos de algas marinas. Las algas son ricas en minerales y aminoácidos esenciales que favorecen el cuidado de la piel, son usadas como anticelulítico, adelgazante, antioxidante, fotoprotector, hidratante, blanqueador y antienvejecimiento. Gran número de formulaciones utilizan extractos de algas, particularmente *Fucus* y *Laminaria* son ricas en yodo, lo que justifica su presencia en estos productos. Se ha demostrado que el

yodo participa en el metabolismo de la tiroides y que las hormonas tiroideas promueven la lipólisis al aumentar la penetración de ácidos grasos (Leblanc *et al*. 2006; Ondarza & Rincones 2008).

Algunos tratamientos tópicos para la celulitis incluyen extractos de algas, como los usados para aumentar el flujo de la microcirculación, reducir la lipogénesis y promover la lipólisis que restablecen la estructura normal de la dermis y el tejido subcutáneo. Las algas frecuentemente empleadas como anticelulíticas son *Fucus vesiculosus*, *Furcellaria lumbricalis* (Al-Bader *et al*. 2012), *Laminaria digitata* (Jang & Choung 2013) y *Pelvetia wrightii* (= *Silvetia babingtonii*) (Rozkin *et al*. 1991).

Los polisacáridos sulfatados derivados de extractos de algas tienen efectos biológicos y bioquímicos, incluida la modulación de la proteólisis del tejido conjuntivo y antiinflamatorio (Wijesinghe & Jeon 2012). Las algas *U. lactuca* y *Codium tomentosum* tienen propiedades hidratantes, antienvejecimiento y lipolíticas (Guglielmo & Montanari 2008). Los aminoácidos tipo micosporina (MAA) encontrados en numerosos organismos marinos permiten usar a las algas marinas en la elaboración de protectores solares, *Porphyra umbilicalis* se usa a escala industrial debido a su alto contenido de MAA, igualmente algunas especies del género *Gracilaria* (Ondarza & Rincones 2008).

En algunos países occidentales las algas marinas son usadas en el blanqueamiento la piel (Numata *et al*. 2005), la mayoría de los productos elaborados para este fin están formulados con inhibidores de la tirosina como el ácido kójico y la arbutina (Hu *et al*. 2009; Noh *et al*. 2009). La exposición al sol aumenta la síntesis de tirosinasa y melanosoma. Se ha demostrado que extractos de fucoxantina de *Laminaria japonica* actúan como inhibidores de la tirosinasa (Ondarza & Rincones 2008; Thomas & Kim 2013).

MACROALGAS COMO FORRAJE

Las macroalgas marinas son empleadas como alimento directo de ganado vacuno tradicionalmente en las costas de Europa. Los géneros más usados son: *Palmaria*, *Alaria* y *Laminaria*. Las algas pardas *Ascophyllum*, *Laminaria* y *Macrocystis* son recolectadas, secadas y convertidas en polvo para alimentar directamente a los animales o ser usadas como suplemento mineral. Las ovejas de North Ronaldsay (Escocia) pueden vivir con una dieta exclusiva de algas. Los productos elaborados con base en macroalgas se administran en una proporción de 10% de la ración total y se recomiendan para incrementar la cantidad de proteínas suministradas en las dietas (Bula-Meyer 1988).

MACROALGAS EN LA AGRICULTURA

Las algas marinas contienen elementos trazas, también pueden encontrarse otras sustancias naturales, cuyos efectos son similares a ciertos reguladores del crecimiento de las plántulas, como vitaminas, carbohidratos, proteínas, además de sustancias biocidas que actúan contra algunas plagas y enfermedades. De igual forma, favorecen la disponibilidad de azúcares e incremento de tallas de los frutos, minimizan el tiempo de cultivo, y mejoran las formas y tonalidades de los productos agrícolas (Carvajal & Mera 2006), por lo que en la medida en que se extienda el empleo de productos orgánicos derivados de las algas en los diversos cultivos, se irá sustituyendo el uso de los productos químicos, favoreciendo así una agricultura sostenible (McHugh 2002).

Las algas actúan como reguladores del crecimiento de las plantas, justificando su uso como aditivo de suelos. Tienen gran cantidad de nitrógeno y potasio pero son bajas o similares en fosfatos en comparación con otros abonos naturales. La composición química de las macroalgas varía estacional y geográficamente. El alto contenido de materia orgánica es beneficioso para mejorar la retención de agua y las propiedades mecánicas del suelo. Entre las ventajas de las algas como fertilizantes se encuentran: capacidad de liberar de malezas y esporas de hongos las cosechas, regular el crecimiento del cultivo y su maduración debido a las auxinas, citoquininas y giberelinas; e inhibir ciertos patógenos, incluyendo virus (Bula-Meyer 1988).

Los extractos de algas ayudan a resistir daños por enfermedades, insectos o condiciones de estrés, así como a incrementar la producción, la resistencia, la absorción de nutrientes del suelo y la germinación de las semillas. Dentro de los compuestos ya identificados en las algas se tienen agentes quelatantes como ácidos algínicos, fúlvicos y manitol, así como vitaminas. Otros estudios han demostrado que el contenido de clorofila y la capacidad fotosintética son elevados en plantas tratadas con estos extractos (Pérez 2004).

En muchos países la mayoría de las algas empleadas como fertilizantes no son especies específicas, cada región emplea las más abundantes y accesibles. Entre los géneros de algas utilizadas para este fin se tienen: *Macrocystis*,

Ecklonia, *Sargassum*, *Durvillaea*, *Porphyra*, *Fucus* y *Ascophyllum*; para el cultivo de alcachofas se utiliza *Himanthalia*, las macroalgas *Macrocystis*, *Nereocystis* y *Pelagophycus* (conocidas como "Kelps") son extraídas en Nueva Zelanda durante la limpieza de los viveros de ostras y empleadas como abono (Pérez 2004).

MACROALGAS EN LA INDUSTRIA: AGAR, CARRAGENINAS Y ALGINATOS

Según Bula-Meyer (1988), el agar es un polisacárido constituido por agarosa y agaropectina, que es una mezcla de polisacáridos, es el mayor constituyente de la pared celular de ciertas algas rojas, especialmente las pertenecientes a las familias Gelidiaceae y Gracilariaceae. Las agarofitas presentan variación estacional en su rendimiento y calidad del agar principalmente por el efecto de los cambios de los factores ambientales (irradiación, movimiento del agua, disponibilidad de nutrientes, temperatura, pH, presión de oxígeno, entre otros) que modifican la fisiología y bioquímica del alga. Además, estudios demuestran que la calidad de los ficocoloides varía de acuerdo a la especie, al ciclo de vida y la frecuencia de las perturbaciones bióticas-abióticas de las zonas (Lahaye & Rochas 1991; Luhan 1992).

Otro ficocoloide de gran importancia comercial es la carragenina, que se encuentra entre la pared celular y la matriz intercelular de las algas, es un polisacárido que se puede obtener de varias algas rojas, especialmente de la familia Gigartinaceae. Usualmente se extrae de los géneros *Chondrus*, *Gigartina*, *Iridaea*, *Eucheuma* y *Kappaphycus*. Es un polisacárido de alto peso molecular con contenido de éster sulfato de 15% a 40% formado por unidades alternadas de D-galactosa y 3,6-anhidro-galactosa (3,6-AG). La posición y el número de grupos de éster sulfato, así como el contenido de 3,6-AG, determinan las diferencias primarias entre los tipos de carragenina kappa, iota y lambda. Las diversas aplicaciones comerciales dependen del tipo de carragenina (Porto 2003).

Los alginatos y sus derivados se presentan en casi todas las algas pardas como constituyentes de la pared celular. Son más abundantes en las algas pertenecientes al orden Laminariales como *Macrocystis* y *Laminaria*, también dentro del orden Fucales, especialmente el género *Ascophyllum*. A menor escala se extraen alginatos de las algas *Sargassum*, *Turbinaria*, *Spatoglossum*, *Dictyopteris*, *Dictyota* y *Stypopodium*. Químicamente el ácido algínico es un polímero de los ácidos D-manurónico y L-gulurónico, tiene alta capacidad de reacción, puede ser mezclado con álcalis (óxidos, hidróxidos y carbonatos), amonio, aminas y bases orgánicas formando sales solubles en agua como alginatos de amonio, hierro, litio, magnesio, potasio, sodio y sales insolubles como alginatos de aluminio, cobre, níquel, plata y zinc. Además del agar, carragenina y alginatos, existen otros ficocoloides que son poco usados como el furcelarano y el funorano (Bula-Meyer 1988), en la tabla 3 se especifican algunas aplicaciones de los principales ficocoloides de uso comercial.

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE LAS MACROALGAS MARINAS

Las actividades relacionadas con el cultivo y recolección de macroalgas del medio, extracción de ficocoloides, elaboración de productos con base en extractos de algas marinas y derivados (agar, carrageninas, alginatos y otros) como cosméticos, fármacos, alimentos, fertilizantes, etc. generan grandes ingresos para los países que las realizan, es por ello que al transcurrir los años la producción y las ganancias obtenidas van en aumento. En el año 2002, China fue el principal productor de algas marinas comestibles con 5 millones de toneladas. La mayor parte de esta cantidad corresponde a *L. japonica*; la República de Corea cultivó aproximadamente 800.000 t de tres especies diferentes, el 50% correspondió a *U.pinnatifida* (Wakame). La producción japonesa ese mismo año ascendió a 600.000 t, con el 75% correspondiente a *Porphyra* sp. (Nori) cuyo valor fue 16.000 USD/t, la producción restante estuvo compuesta por *L. japonica* (Kombu) a 2.800 USD/t y *U. pinnatifida* a 6.900 USD/t (McHugh 2002).

Según la FAO (2004) la producción de la acuicultura mundial de diversos rubros marinos para el año 2004 fue de 45.5 millones t, con un valor de 63.300 millones de USD, si se incluyen las macroalgas ascendió a 59.4 millones t con un costo de 70.300 millones de USD. China representó casi el 70% del volumen y más de la mitad del valor total mundial de la producción acuícola. En todas las regiones aumentó la producción, especialmente los países del Oriente, África del Norte, América Latina y el Caribe, donde el crecimiento anual medio estuvo entre 10 y 14%. La mayor producción se obtuvo en las especies: *L. japonica* (4.5 millones t), *U. pinnatifida* (2.5 millones t) y *Porphyra tenera* (1.3 millones t).

El comercio de macroalgas ha aumentado de forma significativa, pasando de 200 millones de USD en 1990

Tabla 3. Algunas aplicaciones industriales de los principales ficocoloides (Bula-Meyer 1988; Porse & Rudolph 2017).

Ficocoloides	Agar	Carragenina	Alginatos
Propiedades	Gelificante, estabilizante y espesante.	Gelificante, estabilizante, espesante y emulsificante.	Espesante, estabilizante, emulsificante y gelificante.
Usos y Aplicaciones	Preparación de pudines, cremas, gelatinas, quesos, aderezos, ensaladas, mayonesas, enlatados, caramelos de goma, jaleas, dulces en pasta, confites, postres tipo gelatina, merengues, preparación de patés, jamón, mermeladas, diversos productos lácteos, cubiertas protectoras de carnes y pescados. Clarificante de vinos, zumos, vinagres, cervezas y licores. Preparación de películas fotográficas. Engomado de papeles. Apresto de tejidos, adhesivo y estampado para telas. Medio de cultivos bacterianos. Elaboración de cremas, lociones, ungüentos, prótesis dentales, plásticos. Agente terapéutico en el tratamiento de disfunciones digestivas. Agente retardador en la administración de remedios, antibióticos y vitaminas. Agente de suspensión en diversos tipos de emulsiones.	Estabilizantes en los lácteos, pastelería y productos de condimentos. Elaboración de productos cremosos o gelatinosos como merengues y pudines, relleno de chocolates, postres, helados, ensaladas, salsas y sopas. Elaboración de quesos, carnes y pescado. Clarificante de cerveza, jugos, frutas y otras bebidas. Emulsificante, agente de granulación en tabletas, cápsulas, elíxires y jarabes de la industria farmacéutica. Elaboración de cremas faciales, ungüentos, lociones, pastas dentales, tónicos para el cabello, aceites y protectores solares. Agente estabilizador, suspensión y espesante de cosméticos. Estabilizante de pigmentos y agente formador de partículas finas en pinturas. Impresión, teñido, apresto y acabado de las telas.	Emulsionantes en cremas, jarabes, pudines, frutas artificiales. Fabricación de mermeladas, jamones, quesos, sopas, salsas, mayonesas, margarinas, conservantes de carnes, telas impenetrables, espuma en los extintores de incendios, sustancias fundentes, ladrillos, explosivos, insecticidas, pesticidas, pinturas, espuma de caucho, lápices, crayolas, moldes dentales, suturas, látex, concreto, yeso, etc. Estabilizante de cremas heladas y helados, jabones, detergentes, cremas de afeitar, pigmentos, suspensiones para el barnizado en la industria de cerámica. Agente clarificante de vinos y licores azucarados. Emulsificante en la industria farmacéutica, ingrediente de relleno en la manufacturación de píldoras, cápsulas y tabletas. Agente espesante y dispersante de ungüentos, cremas, lociones, cosméticos, tintes para el cabello, tónicos capilares, shampoos, fabricación de aceites y cremas protectoras solares. Engomado de papeles y apresto de tejidos.

a 500 millones de USD en el año 2000 y 800 millones de USD en el año 2010. China sigue figurando como el principal exportador y Japón como el principal importador. El 98.9 % de la producción mundial en esa última fecha estuvo conformado por las especies: *L. japonica*, *K. alvarezii*, *Eucheuma* sp., *Gracilaria* sp., *Porphyra* sp. y *U. pinnatifida*, procediendo el 99,6 % de la producción mundial de China, Indonesia, Filipinas,

República de Corea, Japón, Malasia y la República Unida de Tanzania (FAO 2012). Según FAO (2016), en el año 2014 la producción mundial de macroalgas aumentó considerablemente a 27,3 millones de toneladas húmedas procedente principalmente de la maricultura de cinco (5) países, y con un valor estimado de 5.600 millones de USD.

En América Latina las actividades relacionadas con el cultivo, recolección de macroalgas y extracción de ficocoloides han ido expandiéndose. En Chile para el año 1993 los precios de exportación de *Gracilaria* fluctuaron entre 800-1.600USD/t secas, ese año fueron producidas 55.000 t secas de algas marinas las cuales permitieron elaborar 7.500 t de agar por un valor de 132 millones de USD. Para la fecha, México exportaba *Gracilaria* por un precio de 1000 USD/ t seca. Chile, España y Japón aportaron el 60% del total del agar producido a nivel mundial (Zertuche 1993).

Para el año 2002, Argentina desarrollaba el cultivo de *Gracilaria* especialmente de la especie *Gracilaria gracilis*, también recolectaban las especies *Gigartina skottsbergii* y *Sarcothalia crispata*. En Perú se cultivó *Gigartina chamisoii*, *Gracilaria*, *Gracilariopsis*, *Lessonia*, *Macrocystis*, *Ahnfeltia*, *Gelidium* y *Durvillaea* (McHugh 2002).

En la península de Yucatán (México) se realizaron pruebas pilotos con *Gracilaria*, *Macrocystis*, *Gelidium*, *Porphyra* y *C. crispus*, de igual forma se desarrolló experimentalmente *K. alvarezii* por el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV) con material introducido desde Brasil y Venezuela (McHugh 2002; Muñoz *et al*. 2004; Robledo & Freile-Pelegrín 2011). En Cuba se implementó la maricultura de las especies locales *Gracilaria domingensis* y *Bryothamnion triquetrum* con fines de investigación. Además, fueron introducidos con fines comerciales desde Filipinas implantes de *K. alvarezii*, *Kappaphycus striatus* y *E. denticulatum* (Areces y Céspedes 1992).

En el Caribe panameño existen programas de maricultura con la especie *K. alvarezii*, cuyos implantes fueron importados desde Venezuela en el año 2000 (Batista 2009), logrando su expansión comercial para su exportación a plantas procesadores de carragenina en Europa y China (Hayashi *et al*. 2017). Igualmente, implantes de *K. alvarezii* fueron introducidos desde Venezuela a Brasil, donde se desarrollaron proyectos comerciales de granjas marinas promovidos por la Universidad de São Paulo y empresas privadas en los estados de Rio de Janeiro y São Paulo (Paula *et al*. 1998; Reis *et al*. 2007).

En Colombia, Bula-Meyer (1990) realizó los primeros ensayos de cultivo experimental de algas al sur de la ciudad de Santa Marta (Magdalena), utilizando *Grateuloupia filicina* como posible fuente de carragenina lambda. El Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) realizó ensayos experimentales en Bahía Portete, Alta Guajira (2005-2006) (Delgadillo & Newmark-Umbreit 2008) con cepas locales de *Gracilaria cervicornis*, *Hydropuntia cornea*, *Hypnea musciformis* y *Grateloupia* sp. De igual forma, el Instituto Alexander von Humboltd, con apoyo de la FAO y Corpoguajira desarrollaron programas pilotos para el cultivo de *K.alvarezii* en las comunidades wayúu del Cabo de La Vela (La Guajira) (Rincones & Gallo 2004; Rincones 2006).

El cultivo de *K. alvarezii* se ha expandido con fines comerciales en las Antillas Menores, particularmente en San Vicente y las Granadinas, donde fueron introducidos cinco (5) kg desde Venezuela a la isla Unión. En el año 2013, el gobierno de Santa Lucía inició programas de maricultura el cual contó con la introducción de implantes de *K. alvarezii* desde Venezuela para reforzar y mejorar los cultivos de algas realizados con especies locales de Gracilariales y *Eucheuma isiforme* (Rincones 2011).

El cultivo de las algas rojas constituye la más reciente expansión en la producción global de macroalgas, los géneros más cultivados son *Kappaphycus*, *Eucheuma* y al igual que varias especies de Gracilariales particularmente *Gracilaria*. La mayor exportación de especies productoras de carragenina proviene de Indonesia, Filipinas, Malasia y Tanzania. La maricultura de este grupo de algas en Indonesia es la práctica que más contribuye al crecimiento de la producción mundial, aumentando de un millón de toneladas en el año 2005 a 10 millones de toneladas húmedas en el año 2014, donde el 68% fue destinado a China, el 22% a otros países de Asia, un 4,5% a Latinoamérica y el Caribe, 4,1% a Europa, 1,5% a Norteamérica, 0,3% a Oceanía, y 0,3% a África (FAO 2016).

El precio promedio de exportación de *Eucheuma denticulatum* (productora de iota carragenina) conocida comercialmente como "spinosum" es de 690 USD/ t secas, esta especie ha tenido históricamente un precio menor que *Kappaphycus* (productora de kappa carragenina) la cual reporta un precio promedio durante los últimos cinco años de 1185 USD/ t secas. El diferencial de precio entre estas dos especies de algas se debe fundamentalmente a que la

mayor demanda en el mercado mundial de ficocoloides es para algas productoras de kappa carragenina con un 80%, dejando a las iota carragenófitas con un 15%, mientras que otro grupo de especies productoras de lambda y kappa II ocupan un 5% (Porse & Rudolph 2017).

En Venezuela, la empresa Geles del Caribe C.A estuvo activa en el fomento del cultivo y utilización de algas marinas, evaluaron la producción industrial de las especies productoras de agar *Gracilaria cornea* y *Gracilariopsis lemaneiformis* (=*G. tenuifrons*) (Rincones *et al*. 1992). Debido a problemas de sedimentación, epifitismo y herbivorísmo se desarrollaron otros métodos de cultivo (Racca *et al*. 1993). En el año 1996, fueron introducidos desde Filipinas implantes de *K. alvarezii* y *E. denticulatum* a la península de Araya e isla de Coche por la empresa Biotecmar. Ambas especies se adaptaron a las condiciones locales y fueron cultivadas comercialmente luego de una fase experimental de dos años entre los años 1999-2001 (Rincones & Rubio 1999; Rincones 2000; Smith & Rincones 2006).

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo está dedicado a la memoria del Prof. Juan A. Bolaños C. por su incuestionable calidad humana y docente, y por su apoyo y amor incondicional por la Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar de la Universidad de Oriente.

REFERENCIAS

Al-Bader, T., A. Byrne, J. Gillbro, A. Mitarotonda, A. Metois & F. Vial. 2012. Effect of cosmetic ingredients as anticellulite agents: synergistic action of actives with in vitro and in vivo efficacy. *J. Cosmet. Dermatol*. 11: 17-26.

Ara, J., V. Sultana & V. Qasim. 2002. Hypolipidaemic activity of seaweed from Karachi coast. *Phytother. Res*. 16: 479-483.

Batista, G. 2009. *Cultivo ecosostenible de Kappaphycus alvarezii en Panamá*. Trab. Grad. Doc. Ecología y Gestión de los Recursos Vivos Marinos, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España, 243 pp.

Bradford M. 2000. *Algas*: *las verduras del mar*. *Los nutritivos tesoros para la salud y el paladar*. Editorial Océano, Barcelona. España. 191 pp.

Bula-Meyer G. 1988. *Cultivos y utilización comercial de las macroalgas marinas*. Universidad Tecnológica de Magdalena, Facultad de Ingeniería Pesquera, Serie de Manuales Técnicos, Colombia. 57 pp.

Bula-Meyer, G. 1990. Cultivo experimental en el mar del alga béntica *Grateloupia filicina*. En: Oliveira. E. & N. Kautsky (eds). Proceedings of Workshop Cultivation of Seaweeds in Latin America. Sao Sebastiao, Brazil. Abril 2-8: 101-104.

Burtin P. 2003. Nutritional value of seaweeds. *J. Environ. Agric. Food. Chem*. 2(4).

Cáceres, P., M. Carlucci, E. Damonte, B. Matsuhiro & E. Zúñiga. 2000. Carrageenans from Chilean samples of *Stenogramme interrupta* (Phyllophoraceae): Structural analysis and biological Activity. *Phytochemistry* 53: 81-86.

Carvajal, J. & A. Mera. 2006. Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Rev. P + L*. 5(2): 77-96.

Charzeddine, L. & M. Fariñas. 2001. Propiedades Bioactivas de Algas Marinas del Nororiente de Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Vnzla*. 40: 49-54.

Delgadillo, O. & F. Newmark- Umbreit. 2008. Cultivo piloto de macroalgas rojas (Rhodophyta) en bahía Portete, La Guajira, Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost*. 37(2): 7-26.

FAO, 2004. Estado mundial de la pesca y la acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. Disponible en http://www.fao.org/3/a-i3720s.pdf (revisada octubre 2015).

FAO, 2012. Estado mundial de la pesca y la acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf (revisada octubre 2015).

FAO, 2016. Estado mundial de la pesca y la acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf (revisada febrero 2017).

Freile, P. 2001. Algas en la "Botica". *Rev. Avance y Perspectiva*. 20: 283-292.

García, T., Y. Hernández, Y. Valdés & R. Menéndez. 2010. Las algas marinas: fuente de nutrición y salud. Cuba: Medio Ambiente y Desarrollo; Revista electrónica de

la Agencia de Medio Ambiente 10(19). Disponible en http://ama.redciencia.cu/articulos/19.07.pdf (revisada noviembre 2015).

Gómez, E. 2013. *Evaluación nutricional y propiedades biológicas de algas marinas comestibles*. *Estudios in vitro e in vivo*. Trab. Grad. Dr. Farmacia y Tecnología Farmacéutica. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 218 pp.

González, A., G. Platas & A. Basilio. 2001. Screening of antimicrobial activities in red, green and brown macroalgae from Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *Int*. *Microbiol*. 4:35-40.

Guglielmo, M. & D. Montanari. 2008. Cosmetic composition with a lifting effect for sustaining relaxed tissues. Patent WO2008146116A2.

Guiry, M. & G. Guiry. 2018. AlgaeBase. World-Wide Electronic Publication. Universidad Nacional de Irlanda, Galway. Disponible en http://www.algaebase.org (revisada abril 2018).

Hayashi, L., R. Reis, A. Dos Santos, B. Castelar, B. Robledo, G. Batista de Vega, F. Msuya, K. Eswaran, S. Yasir, M. Majahar & A. Hurtado. 2017. *The cultivation of Kappaphycus and Eucheuma in tropical and sub-Tropicaln waters*. En: Hurtado, A., A. Critchley & I. Neish (eds). *Tropical seaweed farming trends*, *problems and opportunities*. Developments in Applied Phycology 9, Springer, Murdoch, Australia. 55-90.

Hu, J., M. Gen, J. Zhang & H. Jiang. 2009. An in vitro study of the structure activity relationships of sulfated polysaccharide from brown algae to its antioxidant effect. *J*. *Asian*. *Nat*. *Prod*. *Res*. 3: 353-355.

Jang, W. & S. Choung. 2013. Antiobesity effects of the ethanol extract of *Laminaria japonica* Areshoung in high-fat-diet-induced obese rat. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine. 17 pp.

Lahaye, M. & C. Rochas. 1991. Chemical structure and physico-chemical properties of agar. *Hydrobiologia* 221: 137-148.

Leblanc, C., C. Colin , A. Cosse, L. Delage, S. La Barre, P. Morin, B. Fiévet, C. Voiseux, Y. Ambroise, E. Verhaeghe, D. Amouroux, O. Denard, E. Tessier & P. Potin. 2006. Iodine transfers in the coastal marine environment: the key role of brown algae and of their vanadium-dependent haloperoxidases. *Biochimie* 88(2):1773-1785.

Lima, J., A. Carvalho & V. Melo. 2002. Antibacterial Activity of Extracts of Six Macroalgae From the Northeastern Brazilian Coast. *Braz*. *J*. *Microbiol*. 33(4): 311-314.

Luhan, M. 1992. Agar yield and gel strength of *Gracilaria heteroclada* collected from Iloilo, central Philippines. *Bot*. *Mar*. 35: 169-172.

Mascheck, J. & R. Baker. 2008. Macroalgal chemical defenses and their roles in structuring tropical marine communities. En: *Algal Chemical Ecology*. C. Asmsler (ed.). Editorial Springer, Berlin, Alemania. 313 pp.

Mazumder, S., P. Ghosal, C. Pujol, M. Carlucci, E. Damonte & B. Ray. 2002. Isolation, chemical investigation and antiviral activity of polysaccharides from *Gracilaria corticata* (Gracilariaceae, Rhodophyta). *Int*. *J*. *boil*. *Macromol*. 31: 87-95.

Mchugh, D. 2002. Perspectivas para la Producción de Algas Marinas en los Países en Desarrollo. FAO Circular de Pesca No. 968. Roma. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/004/y3550s/y3550s04.htm (revisada diciembre 2015).

Mclachlan, J. 1985. Macroalgae (seaweeds): Industrial resources and their utilization. *Plant and Soil* 89(1-3): 137-157.

Muñoz, J., Y. Freile-Pelegrín & D. Robledo. 2004. Mariculture of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieracea) color strains in tropical waters of the Yucatán Peninsula, Mexico. *Aquaculture* 239:161-177.

Nisizawa, K. 2006. Seaweeds Kaiso, bountiful harvest from the seas. En: *World Seaweed Resources*. Critchley, A., M. Ohno & D. Largo (eds). ETI Bioinformatics. Amsterdam University, Netherland. pp. 1-86.

Noh, J., S. Kwak, H. Sea, J.Seo, B. Kim & Y. Lee. 2009. Kojic acid-amino acid conjugates as tyrosinase inhibitors. *Bioorg*. *Med*. *Chern*. *Lett*. 19 (19): 5586-5589.

Numata, T., Y. Kobayashi, T. Ito, K. Harada, R. Tsuboi & Y. Okubo. 2005. Two cases of allergic contact dermatitis due to skin-whitening cosmetics. *Allergol*. *Int*. 64(2): 194-195.

Ondarza, B. & R. Rincones. 2008. El cultivo de algas marinas: alternativa industrial en acuacultura sustentable a mediano y largo plazo. *CienciaUAT* 3(2): 68-73.

Panlasigui, L., O. Baello, J. Dimatangal & B. Dumelod. 2003. Blood cholesterol and lipid lowering effects of

carrageenan on human volunteers. Asia-Pac. *J. Clin. Nutr*. 12: 209-214.

Paula, E., R. Pereira & S. Ostini. 1998. *Introdução de espécies exóticas de Eucheuma e Kappaphycus* (*Gigartinales*, *Rhodophyta*) *para fins de maricultura no litoral brasileiro*: *abordagem teórica e experimental*. En: Paula, E., M. Cordeiro-Marin, D. Santos, E. Plastino & N. Yokoya (eds) . *IV Congresso Latino Americano de Ficologia*, *II Reunião Ibero-Americana de Ficologia e VII Reunião Brasileira de Ficologia*, *Caxambu*. 341-357.

Pereira, L. & F. Van De Velde. 2011. Portuguese carrageenophytes: carrageenan composition and geographic distribution of eight species (Gigartinales, Rhodophyta). *Carbohydrate Polymers* 84(1): 614-623.

Pérez, B. 2004. *Aplicación de técnicas de teledetección hiperespectral en viñedo fertilizado con extracto de algas*. Trab. Grad. Ing.Téc. Agrícola. Universidad de Valladolid, Valladolid, España, 134 pp.

Porse, H. & B. Rudolph. 2017. *The seaweed hydrocolloid industry*: *2016 updates*, *requirements*, *and outlook*. 22nd International Seaweed Symposium, Copenhagen.

Porto, S. 2003. Empresa Agargel. Agar Brasileiro. Disponible en http://www.agargel.com.br/index-es.html (revisada enero 2016).

Quitral, V., C. Morales, M. Sepúlveda & M. Schwartz. 2012. Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. *Rev. Chil. Nutr*. 39(4): 196-202.

Racca, E., R. Hurtado, C. Dawes, C. Valladares & J. Rubio. 1993. *Desarrollo de cultivo de Gracilarias en la península de Araya* (*Venezuela*). En: FAO. *Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en América Latina y el Caribe*. Proyecto Aquila II, Programa cooperativo gubernamental, Italia. Disponible en http://www.fao.org/docrep/field/003/ab483s/AB483S05.htm#ch5 (revisada octubre 2016).

Reis, R., M. Bastos & H. Góes. 2007. Cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no litoral do Rio de Janeiro: subsidios ao monitoramento ambiental da producao em escala industrial. *Panorama da Aqüicultura* 42-47.

Rincones, R. & H. Gallo. 2004. *Programa de capacitación en el cultivo de algas marinas "Jimoula" a las comunidades del Cabo de la Vela*, *Península de La Guajira*. Informe final del proyecto para el fortalecimiento para el desarrollo de empresas rurales a partir de productos de la biodiversidad en el Cabo de la Vela, Departamento de La Guajira (FAO), Colombia. 192 pp.

Rincones, R. & J. Rubio. 1999. Introduction and commercial cultivation of the red alga *Eucheuma* in Venezuela for the production of phycocolloids. *World Aquac*. 30(2):58-63.

Rincones, R. 2000. Marine agronomy: A sustainable alternative for coastal communities in developing countries. *Global Aquaculture Advocate* 3(2): 70-72.

Rincones, R. 2006. *The Jimoula Initiative*. *Seaweed farming as a sustainable alternative for the development of coastal communities in the Guajira Peninsula*, *Colombia*. En: Critchley, A., M. Ohno & D. Largo. *World seaweed resources*: *an authoritative reference system expert centre for taxonomic identification* (ETI) [DVD-ROM]. Universidad de Amsterdam, Países Bajos.

Rincones, R. 2011. *Mariculture and environmental research consultancy final report of to the Ashton multipurpose cooperative*, *Ashton Union Island*, *St. Vincent and the Grenadines* (*West Indies*) *as part of the GEF-UNDP project entitled developing the economic viability*, *human capacity*, *and environmental sustainability of a seamoss cooperative an Union Island*. San Vicente y Las Granadinas. 118 pp.

Rincones, R., J. Rubio & E. Racca . 1992. *Gracilaria pilot farming in Venezuela*. En: Mshigeni, K., J. Bolton, A. Critchley & G. Kiangi. *Sustainable seaweed resource development in sub-Saharan Africa*. Windhoek, Namibia: Universidad de Namibia. 309-318 pp.

Robledo, D. & Y. Freile-Pelegrín. 2011. Prospects for the cultivation of economically important carrageenophytes in Southeast Mexico. *J. Appl. Phycol*. 23(3):415-419.

Robledo, D. 2006. *Seaweed resources of Mexico*. En: Critchley, A., M. Ohno & D. Largo (eds). *World seaweed resources*. DVD-ROM multimedia interactive software-UNESCO Publishing/ETI Bioinformatics, Universidad de Amsterdam. 331-342 pp.

Rozkin, M., M. Levina, V. Efimov & A. Usov. 1991. The anticoagulant and lipolysis-stimulating activity of polysaccharides from marine brown algae. *Farmakol Toksicol* 54: 40-42.

Smith, A., & R. Rincones. 2006. *Seaweed resources of the Caribbean*. En: Critchley, A., M. Ohno & D. Largo. *World Seaweed Resources*: *An authoritative reference system* [DVD-ROM]. University of the Netherlands, Países Bajos. 1-14 pp.

Thomas, N. & S. Kim. 2013. Beneficial effects of marine algal compounds in cosmeceuticals. *Mar*. *Drugs*. 11 (1):146-164.

Valderrama, D., J. Cai, N. Hishamunda & N. Ridler. 2013. *Social and economic dimensions of carrageenan seaweed farming*. FAO Technical Paper, Roma. 580 pp.

Villarreal, L. 1995. Condiciones ambientales, crecimiento y valor químico de las algas marinas en dos localidades del estado de Tamaulipas, México. Trab. Grad. Dr. Ciencias con Especialidad en Alimentos. Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México, Facultad de Ciencias Biológicas, 126 pp.

Werlinger, C. 2004. *Biología marina y oceanografía*: *Conceptos y procesos*. Tomo I, Editorial Concepción, Chile, pp. 696.

Wijesinghe, W. & Y. Jeon. 2012. Biological activities and potential industrial applications of fucose rich sulfated polysaccharides and fucoidans isolated from brown seaweeds: a review. *Carbohydr*. *Polym*. 88: 13-20.

Zertuche, J. 1993. Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en América Latina y el Caribe. Disponible en http://www.fao.org/docrep/field/003/AB483S/AB483S01.htm (revisada enero 2016).

Zhu, W., V. Ooi, P. Chan & J. Ang. 2003. *Inhibitory effect of extracts of marine algae from Hong Kong against Herpes simplex viruses*. En: Chapman, A., R. Anderson, V. Vreeland & I. Davison (eds). *Proceedings of the 17th International Seaweed Symposium*, Oxford University Press, Oxford. 159-164 pp.

Recibido: Abril 2017.
Aceptado: Abril 2018.