

LA INTRODUCCIÓN DE *Eucheuma denticulatum* Y *Kappaphycus alvarezii* (GIGARTINALES, RHODOPHYTA) EN VENEZUELA: UNA REVISIÓN CRÍTICA

Jorge E. Barrios.
Departamento de Biología Marina
Instituto Oceanográfico de Venezuela,
Universidad de Oriente

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria productora de ficocoloides y el empleo para consumo humano de varias especies de algas marinas, aparte de otros usos, han incrementado la explotación de las algas que se encuentran en estado natural, propiciando en muchos casos su cultivo a gran escala. Entre las especies cultivadas con mayor éxito se tienen las pertenecientes a los géneros *Eucheuma* y *Kappaphycus* (Gigartinales, Rhodophyta). Este grupo de algas rojas, productoras de varios tipos de carragenina, son de distribución tropical, con doce especies conocidas a nivel mundial (Trono, 1993).

De los géneros mencionados, destacan por la facilidad de su cultivo y el elevado rendimiento de carragenanos, *Eucheuma denticulatum* (Burman) Collins y Hervey (= *E. spinosum*) y *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty nov. comb. (= *E. alvarezii*), las cuales representan cerca del 90% de todas las algas exportadas desde Filipinas y 70% de la fuente mundial de materia prima para la producción de carragenina semirrefinada (Dawes *et al.*, 1994). Estas algas son exportadas directamente después de ser cosechadas, como algas secas, o procesadas en tres formas: hojuelas tratadas con álcali, polvo semirrefinado y carragenina pura (Trono, 1993).

El potencial económico que representan estas dos especies ha favorecido su introducción en otras regiones del mundo con características ambientales adecuadas para su cultivo. Por otra parte, el potencial de regeneración y elevadas tasas de crecimiento permiten

obtener en poco tiempo abundantes cosechas de *Eucheuma* y *Kappaphycus* a partir de siembras iniciales de clones de escasa biomasa. Como ejemplo tenemos que cinco kilogramos de *K. alvarezii* llevados desde las Filipinas y aclimatados con éxito en las islas Maldivas en 1986, produjeron 150 toneladas (peso fresco) en 12 meses (Reviers, 1989), en tanto que implantes de *Eucheuma* introducidos en Fiji en 1976 mostraron una tasa media de crecimiento anual de 3,3% diario (Luxton *et al.*, 1987).

En la costa norte de Araya, Estado Sucre (Venezuela), se han establecido recientemente cultivos piloto de *E. denticulatum* y *K. alvarezii* con el fin de extender su cultivo y exportar materia prima para la industria procesadora de algas. A pesar de que los cultivos de estos géneros representan nuevas fuentes de ingreso para muchos países, provocan numerosos impactos negativos en la biodiversidad, y en el caso de Venezuela, se incrementa el peligro de daños en los ecosistemas marinos por tratarse de especies con características invasivas provenientes de provincias biogeográficas ajenas al Mar Caribe, por lo que se presenta en este trabajo una revisión crítica de los riesgos de introducir las algas exóticas *E. denticulatum* y *K. alvarezii* en nuestro país.

CONSECUENCIAS DE LA INTRODUCCIÓN DE ALGAS MARINAS EXÓTICAS

La introducción intencional o accidental de algas marinas en algunos países ha traído consecuencias nefastas para la biodiversidad de las zonas afectadas. Los efectos de las invasiones son difíciles de predecir debido a que la especie invasora puede comportarse de manera inusual en condiciones ambientales diferentes a las de su lugar de origen, lo cual se deriva tanto de factores intrínsecos del alga (genéticos) como de factores extrínsecos (interrelaciones bióticas y ambientales). El comportamiento ecológico de *Fucus serratus* es diferente en Nueva Escocia (Canadá) que en su lugar de origen (Europa), afectando la distribución de especies de algas locales (Dale, 1982). De acuerdo a Russell (1992), dos

especies introducidas accidentalmente en Hawai, *Acanthophora spicifera* e *Hypnea musciformis*, compiten por el espacio con las algas locales *Laurencia nidifica* e *Hypnea cervicornis*, logrando desplazarlas.

Con frecuencia, la elevada tasa de crecimiento y la facilidad de reproducirse por fragmentación son algunas de las razones de la rápida proliferación de ciertas macroalgas. Debido a que las algas importadas entran en competencia con la flora indígena, las mismas son clasificadas de agresivas y su invasión es denominada "contaminación biológica" (Rueness, 1989).

Laminaria japonica fue introducida accidentalmente en la costa norte de China, siendo posteriormente domesticada y transplantada a otras regiones para proveer una base para un programa de maricultura. En contraste, *Sargassum muticum* de Japón, ha resultado una introducción accidental de la costa del Pacífico a la costa de Norteamérica y Europa, en donde es una adición desagradable a la flora de estas regiones. Otras especies introducidas con fines comerciales son *Macrocystis*, *Euclima* y *Porphyra* (Neushul *et al.*, 1988). Desde la primera introducción en el Atlántico del alga parda *Undaria pinnatifida* en 1983 con fines de cultivo, esta se ha dispersado por varios lugares a lo largo de las costas de Europa (Floc'h *et al.*, 1996). Un alga roja del género *Porphyra* (nori japonés) fue introducida en Itapema, litoral de Santa Catarina (Brasil), en donde se ha encontrado creciendo masivamente en épocas posteriores (Oliveira, 1984). El caso de *S. muticum* reseñado anteriormente fue producto de la introducción accidental de esporas o plántulas adheridas a conchas de la ostra *Crassostrea gigas*, especie japonesa introducida en California durante la primera mitad de este siglo, encontrándose ahora extendida a lo largo de toda la costa sur-occidental de Norteamérica, extendiéndose incluso hasta la costa meridional de Inglaterra (Abbott y Hollenberg, 1976).

Un ejemplo interesante lo representa el alga verde *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*, la cual fue colectada por vez primera en la costa atlántica de Canadá (Nueva Escocia) en 1991. Para 1992 esta alga se había dispersado por muchos otros lugares de ésta costa. El rápido

crecimiento, el gran tamaño de las algas y la abundante producción de gametangios (estructuras de reproducción sexual) muestran que los lugares confinados de las bahías de la costa atlántica de Nueva Escocia son favorables para el alga, la cual puede transformarse en un serio contaminante biológico y competir con la flora autóctona de la zona. Es probable que esta especie fuera transportada de Nueva Inglaterra hasta Nueva Escocia por medio del tráfico recreacional de yates o por arribazones en masa llevados por un ramal de agua templada de la Corriente del Golfo (Bird *et al.*, 1993). Esta especie, que se ha propagado también por la costa atlántica de Norte América, específicamente por Nueva Inglaterra y el Golfo de St. Lawrence, se hizo dominante en las comunidades submareales, originando complicaciones en la cosecha del alga autóctona, de importancia económica, *Chondrus crispus* (Garbary *et al.*, 1997). *C. fragile* ssp. *tomentosoides* fue reportada inicialmente en el puerto de Auckland (Nueva Zelanda) en 1973, dispersándose desde éste sitio a muchos lugares protegidos del oleaje, al norte de la isla, en las playas de la costa oeste o en el sur del puerto de Wellington en el estrecho de Cook. Observaciones de campo y un transplante experimental del alga indicaron que los herbívoros intermareales ejercieron una pequeña presión de herbivoría sobre *C. fragile* ssp. *tomentosoides*. Resultados de este estudio sugirieron que el alga puede invadir eventualmente con éxito otras costas protegidas de Nueva Zelanda a pesar de los diversos componentes de la fauna de herbívoros (Trowbridge, 1995).

Verlaque (1994) estima que en el Mediterráneo han sido introducidas 94 macroalgas y una fanerógama por acuicultura, acuarios, transporte en embarcaciones y el Canal de Suez. De estas introducciones, el caso más relevante lo representa la denominada "alga asesina", el alga verde *Caulerpa taxifolia*, por sus efectos en la biota marina. Según Meinesz y Hesse (1991), *C. taxifolia* fue introducida accidentalmente en el Mediterráneo a partir de acuarios tropicales del museo Oceanográfico de Mónaco en 1984. En los lugares cercanos a la primera colonización, se observó para 1990 coberturas cercanas al 100% en extensas áreas entre 5 y 25 metros de profundidad. Su rápida dispersión es debida probablemente tanto a reproducción

sexual como a su efectiva reproducción vegetativa. La misma puede tolerar temperaturas invernales de 11 a 13 °C, crece sobre todo tipo de substrato (rocas, arena y limo) y en un amplio rango de profundidad de 0 a 50 metros. En 1992, se registró el punto mas lejano al oeste de colonización de *C. taxifolia*, a 660 kilómetros de su lugar de introducción, en la isla de Mallorca (España). Poblaciones de algas y fanerógamas marinas de las costas de Mónaco y Cap Martin (Francia) se han reducido o desaparecido debido a la invasión por *C. taxifolia* (Meinesz *et al.*, 1992).

Villele y Verlaque (1995) determinaron que los impactos observados sobre praderas del pasto marino *Posidonia oceanica* invadida por *C. taxifolia* son: cambios en las células productoras de tanino, decrecimiento en número, ancho y longevidad de las hojas, clorosis, necrosis y finalmente muerte del vástago, por lo que esta alga introducida tiene gran capacidad para ocupar el biotopo de *P. oceanica*.

Parte de los efectos perniciosos provocados por *C. taxifolia* se deben al desarrollo de una estrategia eficiente contra los herbívoros, consistente en la síntesis de metabolitos secundarios tóxicos repulsivos como la caulerpicina. Esta sustancia representa un riesgo para los microorganismos y los huevos de animales multicelulares que se encuentran cerca de esta alga (Leeme *et al.*, 1993). *C. taxifolia* ha producido fenómenos de toxicidad, llegando a ser ingerida tan sólo por ciertos animales como el pez *Sarpa salpa*. La acumulación de esa toxina por los peces que comen esta alga, puede producir en los humanos que los consumen, síntomas similares al de la ciguatera (Meinesz y Hesse, 1991).

En Venezuela ya existen problemas con una alga exótica, *Ulva reticulata* (Chlorophyta), especie común en aguas del océano Pacífico e Indico, la cual fue reportada por primera vez para nuestro país en las playas de Cumaná, estado Sucre (Ganesan *et al.*, 1985). Esta macroalga no se encuentra fija y crece libremente en las aguas, constituyendo sus arribazones un problema al disminuir el valor turístico de las playas y dificultar las tareas de pesca artesanal. Lemus y Balza (1995) estudiaron la problemática de las arribazones de *U. reticulata*

en la Ensenada de Cardón (Estado Falcón), en donde ha producido molestias en la población de Punta Cardón.

ASPECTOS NEGATIVOS DEL CULTIVO DE *Eucheuma denticulatum* y *Kappaphycus alvarezii*. PELIGROS DE SU INTRODUCCIÓN EN VENEZUELA.

En los países que tradicionalmente cultivan *E. denticulatum* y *K. alvarezii*, el sistema de cultivo que se utiliza con más frecuencia es el de monolíneas atadas a estacas, estructuras que son instaladas en aguas someras con substratos duros, por lo que son utilizados fondos de tipo coralino, y en su defecto, praderas de fanerógamas, ya que zonas con substratos no consolidados de arena o fango son inapropiadas. La preparación del terreno a ser cultivado implica la remoción de los pastos marinos y los organismos que pudieran consumir el alga (Trono, 1993), lo que redundaría en una alteración de las comunidades. Por estas razones la devastación puede ser importante cuando se realizan cultivos a gran escala.

En cultivos de *E. denticulatum*, alga introducida en la isla de Zanzíbar (Tanzania) desde Filipinas en 1989, que cubren cerca de 1000 hectáreas de la zona intermareal, no se han observado alteraciones discernibles en la producción bacteriana de la columna de agua, sin embargo estos cultivos tienen un claro efecto en los procesos microbianos bentónicos y en la meiofauna, la cual disminuye significativamente al compararla con áreas control (Johnstone y Olafsson, 1995; Olafsson *et al.*, 1995).

Las especies de *Eucheuma* y *Kappaphycus* presentan características de crecimiento invasivas que les permiten limitar el espacio disponible sobre el substrato para otras especies, tienen una gran capacidad de regeneración que permite su reproducción por fragmentación y pueden crecer libremente en la columna de agua sin necesidad de substrato, por lo que se constituyen en algas potencialmente invasoras. Entre los avances en el conocimiento de su capacidad de dispersión, Mairh y Tewari (1994) determinaron la presencia de reproducción

asexual mediante propágulos en *Kappaphycus striatum*. Según Russell (1983), la expansión en Hawai de *K. striatum* (introducida en 1974), afectó los arrecifes de coral de la isla Coconut, causando su muerte al recubrir y limitar la luz indispensable para la supervivencia de estos animales.

Es claro que uno de los ecosistemas más delicados, y amenazado por lo tanto, con la introducción de *Eucheuma* y *Kappaphycus* son los arrecifes coralinos. Los efectos que las especies introducidas tienen sobre la ecología de las nativas son únicos para cada especie, y entender cómo ellas pueden cambiar el ecosistema es crítico para la conservación y manejo de los arrecifes (Russell, 1992).

Es importante señalar que *K. alvarezii* y *E. denticulatum*, elaboran sustancias alelopáticas, lo cual forma parte de las estrategias de supervivencia de muchas algas marinas, característica que ha facilitado su cultivo al ser poco afectadas por el ataque de los herbívoros. En experiencias de alimentación de juveniles de camarones *Penaeus monodon* con dietas complementadas con algas secas, se observó que la supervivencia de juveniles alimentados con *K. alvarezii* decrecía a medida que aumentaba la concentración de esta alga de 3 a 10 % en la dieta suministrada (Penaflorida y Golez, 1996).

Análisis químicos y ensayos de toxicidad han revelado la presencia de sustancias tóxicas en extractos de carragenina grado natural producida en Filipinas (CNP) obtenida de varias especies de *Eucheuma* mediante métodos rudimentarios, la cual no se ajusta a los criterios de control de calidad de la FDA, por lo que se consideró en 1983 mantenerla fuera del mercado de los Estados Unidos (Dugoujon, 1983), no obstante Bixler (1996) señaló que análisis químicos no revelan componentes indeseables que pudiesen ser incorporados a los alimentos en las impurezas de la carragenina grado natural. En un estudio dosis-respuesta se observó que la carragenina degradada (obtenida de *E. spinosum*) suministrada en la bebida de cerdos de Guinea, provocó en el 100% de los animales úlceras del intestino ciego a los cuatro días y úlceras del colon ascendente a los siete días en concentraciones del 3% (Marcus *et al.*, 1989).

Con esto sólo queremos señalar que la carragenina puede ser nociva en dosis elevadas, lo cual no disminuye su utilidad para la industria alimenticia, pero lo interesante en este caso es que *Eucheuma* y *Kappaphycus* elaboran sustancias tóxicas que pasan al ambiente para disuadir a los herbívoros y disminuir o impedir la fijación de epifitos, lo que explica que estas algas presenten un aspecto bastante limpio cuando son cosechadas. El peligro de esto, en el caso de ser introducidas, es que posiblemente no encuentren especies adaptadas a sus toxinas, lo que sería un punto a su favor para proliferar al no existir un control por parte de los herbívoros.

Un aspecto adicional que no debe escaparse en el caso de estas carragenofitas es el de una enfermedad bacterial que puede afectar a las algas, denominada "ice-ice". Los factores ambientales adversos causan la enfermedad en cultivos de *K. alvarezii* y *E. denticulatum* de las Filipinas (Largo *et al.*, 1995a). Las bacterias aisladas de ramas normales y enfermas de *K. alvarezii* y *E. denticulatum* de las Filipinas fueron examinadas para estudiar su posible rol en el desarrollo de la enfermedad "ice-ice". Estas bacterias degradadoras de carragenina estuvieron compuestas por colonias extensas, amarillas o no pigmentadas, del complejo *Cytophaga-Flavobacterium* y del grupo de los *Vibrio*. Entre los aislados que aparecen principalmente en las ramas enfermas con "ice-ice", fueron obtenidas dos cepas, designadas como P11 (*Vibrio* sp.) y P25 (*Cytophaga* sp.) las cuales mostraron actividad patogénica. Estas cepas provocan esta enfermedad con un blanqueamiento temprano de *K. alvarezii*, particularmente cuando las ramas son sometidas a estrés ambiental, tales como una reducción de la salinidad y la intensidad lumínica, lo cual sugiere que estas bacterias son ocasionalmente patógenas (Largo *et al.*, 1995b). La presencia de estas bacterias en el material que va a ser cultivado en Araya debe evaluarse, ya que su presencia puede afectar a especies autóctonas productoras de ficocoloides.

La información disponible respecto al tema de las invasiones por algas foráneas a nivel mundial nos da una idea del peligro que estas representan para los recursos bióticos. La introducción y el traslado de especies y crías para los objetivos de la acuicultura puede alterar o

empobrecer la biodiversidad y los recursos genéticos del ecosistema marino a través de cruzamientos, predaciones, rivalidades, destrucción del hábitat y, posiblemente, a través de la transmisión de parásitos y enfermedades (Barg, 1995).

Munro (1993) señaló que la introducción de muchas especies de bivalvos, crustáceos y peces con fines comerciales ha fracasado en términos de acuicultura, incrementando el inventario de especies exóticas, y que debido al desconocimiento de la composición natural y dinámica de muchas de las comunidades acuáticas en las que se han introducido estas especies, sus efectos en las mismas son totalmente desconocidos, representando un potencial peligro para los ambientes en los que se han establecido.

Las recientes fluctuaciones en la demanda de carragenina han resultado en una inestabilidad de los precios, y ha disminuido la expansión de nuevos cultivos. Los países con cultivos de *Eucheuma* y *Kappaphycus* cosechan suficiente cantidad de material para satisfacer las necesidades de la industria mundial de producción de carragenina y mantener precios relativamente estables, y a pesar de la reciente demanda, estos países pueden cubrir las necesidades de la industria instalada. Filipinas produce cerca de 40.000 toneladas peso seco de *K. alvarezii* y *E. denticulatum*, en tanto que Indonesia y Tanzania cosechan 15.000 y 10.000 toneladas peso seco de estas especies, respectivamente (Bixler, 1996).

Los intentos de cultivo de *Eucheuma* no han sido siempre exitosos. En Indonesia se han intentado desarrollar ocho proyectos de cultivo de algas de este género desde 1967, todos los cuales han fallado a excepción de uno. Los factores que provocaron estos fracasos fueron: uso de técnicas de cultivo inapropiadas, mala selección de los sitios de cultivo, fondos coralinos locales poco adecuados y manejo de recursos, administración y coordinación ineficientes (Adnan y Porse, 1987).

En Venezuela no existe una industria procesadora de ficocoloides, por lo que las cosechas de *K. alvarezii* y *E. denticulatum* deben ser exportadas en su totalidad, de aquí la necesidad de un estudio del mercado que va a adquirir esta materia prima, ya que los precios

bajos desestimulan la inversión, lo que generaría un fracaso económico que significaría el abandono de los cultivos, dejando un elemento biológico perturbador instalado en el ecosistema. Cabe preguntarse entonces si vale la pena el riesgo. Verlaque (1994) informó que estas introducciones pueden tener resultados adversos sobre actividades económicas como son la acuicultura y la pesca, y que solamente la legislación internacional, establecida por los países con costas, puede facilitar el control de este problema.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Antes de dar luz verde a la iniciativa de introducir *K. alvarezii* y *E. denticulatum* en nuestro país por los posibles beneficios económicos que se deriven de su cultivo, debemos considerar sus efectos negativos en el ámbito ecológico, debido a que si llegan a tener éxito para colonizar nuestros ambientes marinos, su presencia podría significar la pérdida de organismos nativos; una vez que se ha establecido una especie, es casi imposible eliminarla. Se han hecho intentos por erradicar el alga invasora *S. muticum* en Gran Bretaña (Farnhan y Jones, 1974; Gray y Jones, 1977), pero los mismos han fracasado.

Por todo lo mencionado en este trabajo, se recomienda la exigencia de estudios serios, en condiciones controladas, de las especies *K. alvarezii* y *E. denticulatum* a ser cultivadas en nuestras costas, por otra parte, deben efectuarse estudios de impacto ambiental en las zonas que se proponen para la instalación de los cultivos. Una propuesta válida a la introducción de algas exóticas es el desarrollo de tecnologías de cultivo de algunas de las numerosas especies con potencial comercial que se encuentran en nuestras costas.

BIBLIOGRAFIA

- ABBOTT, I. A. & G.I. HOLLENBERG. (1976) *Marine Algae of California*. Stanford University Press, Stanford, California. pp. 275-276.
- ADNAN, H. & H. PORSE. (1987) Culture of *Eucheuma cottonni* and *Eucheuma spinosum* in Indonesia. *Hydrobiologia* 151/152: 355-358.
- BARG, U.C. (1995) *Orientaciones para la promoción de la ordenación medioambiental del desarrollo de la acuicultura costera*. FAO, Documento Técnico de Pesca 328, 138 pp.
- BIRD, C. J.; DADSWELL, M. J. & D. W. GRUND. (1993) First record of the potential nuisance alga *Codium fragile* spp. *tomentosoides* (Chlorophyta, Caulerpales) in Atlantic Canada. *Proc. N.S. Inst. Sci. Can.* 40(1): 11-17.
- BIXLER, H.J. (1996) Recent developments in manufacturing and marketing carrageenan. *Hydrobiologia* 326/327: 35-57
- DALE, M. (1982) Phytosociological structure of seaweed communities and the invasion of *Fucus serratus* in Nova Scotia. *Can. J. Bot.* 60(12): 2652-2658.
- DAWES, C. J.; LLUISMA, A. O. & G. C. TRONO. (1994) Laboratory field growth of commercial strains of *Eucheuma denticulatum* and *Kappaphycus alvarezii* in the Philippines. *J. Appl. Phycol.* 6(1): 21-24.
- DUGOUJON, J. (1983) *Proposal on the purity of carrageenan by CLITAM*. Working documents of Directorate General III, III/26/83, Brussels, Note 2: 1
- FARNHAN, W. F & E. B. G. JONES. (1974) The eradication of the seaweed *Sargassum muticum* from Britain. *Biol. Conserv.* 6: 57-58.
- FLOCH, J.; PAJOT, R. & V. MOURET. (1996) *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta) 12 years after its introduction into the Atlantic Ocean. *Hydrobiologia* 326-327: 217-222.

- GANESAN, E. K.; O. A. ALFONZO; APONTE M. A. & A .GONZALEZ. (1985) Studies of the marine algal flora of Venezuela. VIII. Four new additions. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente* 24(1-2): 237-246.
- GARBARY, D. J.; VANDERMEULEN, H. & K. Y. KIM. (1997) *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* (Chlorophyta) invades the Gulf of St. Lawrence, Atlantic Canada. *Bot. Mar.* 40: 537-540.
- GRAY, P. W. G. & E. B. G. JONES. (1977) The attempted clearance of *Sargassum muticum* from Britain. *Environ. Conserv.* 4: 303-308.
- JOHNSTONE, R. W. & E. OLAFSSON. (1995) Some Environmental aspects of open water algal cultivation: Zanzibar, Tanzania. *Ambio* 24(7-8): 465-469.
- LARGO, D. B.; FUMAKI, K.; NISHIJIMA, T. & M. OHNO. (1995a) Laboratory-induced development of the ice-ice disease of the farmed red algae *Kappaphycus alvarezii* and *Eucheuma denticulatum* (Solieriaceae, Gigartinales, Rhodophyta). *J. Appl. Phycol.* 7(6): 539-543.
- LARGO, D. B.; FUMAKI, K. & T. NISHIJIMA. (1995b) Occasional pathogenic bacteria promoting ice-ice disease in the carrageenan-producing red algae *Kappaphycus alvarezii* and *Eucheuma denticulatum* (Solieriaceae, Gigartinales, Rhodophyta). *J. Appl. Phycol.* 7(6):545-554.
- LEEME, R.; PESANDO, D.; DURAND-CLEMENT, M.; DUBREUIL, A.; MEINESZ, A.; GUERRIERO, A. & F. PIETRA. (1993) Preliminary survey of toxicity of the green algae *Caulerpa taxifolia* introduced into the Mediterranean. *J. Appl. Phycol.* 5(5): 485-493
- LEMUS, A. J. & J. BALZA. (1995) Composición estacional y biomasa de arribazones de macroalgas verdes en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez. Univ. Oriente* 34: 87-93.
- LUXTON, D. M.; ROBERTSON, M. & M. J. KINDLEY. (1987) Farming of *Eucheuma* in the South pacific islands of Fiji. *Hydrobiologia* 151-152: 359-362.

- MAIRH, O. P. & A. TEWARI. (1994) Studies on a new asexual propagule of *Kappaphycus striatum* (Solieriaceae, Rhodophyta). *Phycologia* 33(1): 62-64.
- MARCUS, A. J.; MARCUS, S. N.; MARCUS, N. & J., WATT. (1989) Rapid production of ulcerative disease of the colon in newly-weaned guinea-pigs by degraded carragenan. *J. Pharmacol.* 41(6): 423-426
- MEINESZ A. & HESSE, B. (1991) Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale. *Oceanologica Acta* 14:415-426.
- MEINESZ A.; VAUGELAS, J. De; HESSE, B. & X. MARI. (1992) Spread of the introduced tropical green alga *Caulerpa taxifolia* in northern Mediterranean waters. *J. Appl. Phycol.* 5(2): 141-147.
- MUNRO, J. L. (1993) Aquaculture development and environmental issues in the Tropical Pacific. En: Pullin, R. S. V.; Rosenthal, H. & J. L. McLean (Editores). *Environment and aquaculture in developing countries*. Manila-Philippines ICLARM. 31:125-138.
- NEUSHUL, M.; AMSLER, C. D.; REED, D. C. & R. J., LEWIS. (1988) Dispersal of marine plants for aquacultural purposes. *J. Shellfish Res.* 7(3): 555.
- OLAFSSON, E.; JOHNSTONE, R. W. & S. G. M., NDARO. (1995) Effects of intensive seaweed farming on the meiobenthos in a tropical lagoon. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 191(1): 101-117.
- OLIVEIRA, E. C. (1984) Algas exóticas nos mares Brasileiros. *Ciência e Cultur.* 36: 801-803.
- PENAFLOIDA, V. D. & N. V. GOLEZ. (1996) Use of seaweed meals from *Kappaphycus alvarezii* and *Gracilaria heteroclada* as binders in diets for juvenile shrimp *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 143(3-4): 393-401.
- REVIERS, B. De. (1989) Realization d'une ferme de culture industrielle de *Eucheuma* aux Maldivas. *Oceanis Doc. Oceanogr.* 15(5): 749-752
- RUENESS, J. (1989) *Sargassum muticum* and other introduced Japanese macroalgae: biological pollution of European Coasts. *Mar. Pollut. Bull.* 20(4): 173-176.

- RUSSELL, D. J. (1983) Ecology of the imported red seaweed *Eucheuma striatum* Schmitz on Coconut Island, Oahu, Hawaii. *Pacific. Sci.* 37: 87-107.
- RUSSELL, D. J. (1992) The ecological invasion of Hawaiian reefs by two marine red algae, *Acanthophora spicifera* (Vahl) Boerg. and *Hypnea musciformis* (Wulfen) J. Ag., and their association with two native species, *Laurencia nidifica* J. Ag. and *Hypnea cervicornis* J. Ag. En: Sindermann, C.; Steinmetz, B. & W. Hershbergen (Editores). *Introductions and transfers of aquatic species. Selected papers from a symposium held in Halifax, Nova Scotia, 12-13 June 1990.* 194:110-125.
- TRONO, G. C. (1993) *Eucheuma y Kappaphycus*: Taxonomy and cultivation. En: Masao O. & A. T. Critchley (Editores). *Seaweed cultivation and marine ranching.* Capitulo 8, JICA, Japan. pp 75-88.
- TROWBRIDGE, C. D. (1995) Establishment of the green alga *Codium fragile* spp. *tomentosoides* on New Zealand rocky shores: Current distribution and invertebrate grazers. *J. Ecol.* 83(6): 949-965.
- VERLAQUE, M. (1994) Inventaire des plantes introduites en Mediterranee: Origines et repercussions sur l'environnement et les activities humaines. *Oceanol. Acta* 17(1): 1-23.
- VILLELE, X. De & M. VERLAQUE. (1995) Changes and degradation in a *Posidonia oceanica* bed invaded by the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the north western Mediterranean. *Bot. Mar.* 38(1): 79-89.

OBSERVACIÓN: Documento transformado a PDF por el autor. Trabajo original publicado en la revista FONTUS 4, Junio de 1999, revista arbitrada de ensayos patrocinada por la Asociación de Profesores de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. Cumaná, Venezuela.

DISPERSIÓN DEL ALGA EXÓTICA *KAPPAPHYCUS ALVAREZII* (GIGARTINALES: RHODOPHYTA) EN LA REGIÓN NORORIENTAL DE VENEZUELA

JORGE E. BARRIOS

Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

jebar@sucre.udo.edu.ve

RESUMEN: Con la finalidad de establecer cultivos comerciales de algas marinas, fue introducida en 1996 la carragenofita *K. alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta) en la región nororiental de Venezuela. Se recolectaron muestras de algas cultivadas en julio de 1999 (Ensenada de Guaranache, Península de Araya, Estado Sucre) y en mayo y diciembre de 2000 (Isla de Coche, Estado Nueva Esparta) y ejemplares de arribazón en varias localidades costeras; las muestras se preservaron con formalina al 5 %. Se realizaron observaciones de campo, estudios histológicos y se identificaron los organismos asociados al alga. El alga mostró tejidos vegetativos con una corteza de pequeñas células dispuestas radialmente y una médula de células grandes con filamentos rizoidales en el centro; no se encontraron estructuras reproductivas. Con escasas excepciones, no se observaron epibiontes, y las algas no presentaron marcas de pastoreo. Los cultivos instalados en aguas abiertas no presentaron estructuras que impidan la pérdida de talos, observándose una dispersión del alga hacia el ambiente circundante. Las altas tasas de crecimiento de *K. alvarezii*, su capacidad de reproducirse por fragmentación, su resistencia a la epibiosis y a la herbivoría, constituyen factores de riesgo que la convierte en potencial invasora al instalarse en un ambiente adecuado.

Palabras clave: cultivos, organismos asociados, taxonomía, ambiente marino.

ABSTRACT: The carrageenophytic alga *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta) was introduced in the northeastern Venezuela for commercial cultivation in 1996. Farmed samples were collected at Ensenada de Guaranache, in the Araya Peninsula, state of Sucre, in July, 1999, and on the Island of Coche, state of Nueva Esparta, in May and December, 2000. Nonfarmed samples drifting off at several shores were also collected for study. The samples thus collected were preserved in 5% formalin. Field research and histological studies were carried out and the organisms associated to the alga were identified. The samples displayed vegetative tissues borne on a crust of small cells radially arranged and a large-cell central medulla with rhizoidal filaments. No reproductive structures were seen. With a few exceptions, no epibiont species were observed, and the algae did not betray obvious grazing marks. The lack of limiting structures to prevent the dispersal of thalli when *K. alvarezii* is farmed in open waters constitutes a risk factor that may favor algal dissemination onto the surrounding environment. The high growth rate of *K. alvarezii*, its capacity to reproduce itself by fragmentation, and its resistance to colonization by fouling organisms and grazing make it a potential invader upon introduction into new environments.

Key words: Farms, associated organism, taxonomy, marine environment.

INTRODUCCIÓN

La macroalga *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty (Gigartinales, Rhodophyta) constituye una de las carragenofitas cultivadas que ha tenido mayor éxito en mares tropicales, constituyendo la principal fuente mundial de materia prima para la producción de carragenina semirrefinada (DAWES *et al.* 1994). Esta alga es exportada directamente después de ser cosechada y deshidratada, o luego de ser procesada para la obtención de carragenina en tres formas: hojuelas tratadas con álcali, polvo semirrefinado y pura (TRONO, 1993).

El potencial económico que representa esta especie originaria de Filipinas ha favorecido su introducción en otras regiones del mundo con características

ambientales adecuadas para su cultivo (DOTY, 1986; GLENN & DOTY, 1990). Por otra parte, el potencial de regeneración y elevadas tasas de crecimiento permiten obtener en poco tiempo abundantes cosechas a partir de siembras iniciales de clones de escasa biomasa (REVIERS, 1989).

El alga *K. alvarezii*, fue introducida en Venezuela en 1996 con fines comerciales, realizándose los primeros cultivos en la Ensenada de Guaranache, Estado Sucre. Posteriormente fue llevada y cultivada en Playa La Uva, Isla de Coche, Estado Nueva Esparta en 1997 (RINCONES & RUBIO, 1999).

Este trabajo presenta una evaluación fitotécnica de *K. alvarezii* proveniente de cultivos, además se discute su posible dispersión en el ambiente marino de los estados

Sucre y Nueva Esparta.

ÁREA DE ESTUDIO

Los cultivos de *K. alvarezii* estudiados fueron los siguientes:

Estado Sucre: Los cultivos establecidos en la Ensenada de Guaranache, Península de Araya (64°10' Long. W y 10°38' Lat. N) se encontraban conformados para julio de 1999 por 25 módulos flotantes de 36 m², con 24 cuerdas de polipropileno cada uno, para un área total de 900 m². La zona de cultivo presenta de dos a tres metros de profundidad, fondo arenoso-rocoso, corrientes moderadas y aguas turbias debido al abundante material en suspensión.

Estado Nueva Esparta: El área de cultivo en la Isla de Coche, se ubicaba en playa La Uva, sector El Oasis (63°58' Long. W y 10°49' Lat. N). Para mayo de 2000 se observaron 4 módulos con un área de 1.250 m² en producción, cada uno con 100 cuerdas de polipropileno de 5,2 metros, instalados cerca del fondo mediante una serie de estacas y cuerdas tensas que limitan las partes laterales de los módulos (sistema de fijación de líneas sobre estacas). El sustrato es arenoso con una pradera de *Thalassia testudinum* poco densa. En diciembre de 2000 los cultivos fueron trasladados tres kilómetros al este de su ubicación original, en un área somera similar a la anterior, y estuvieron conformados por dos módulos con 100 cuerdas cada uno.

Por otro lado, se colectaron en diferentes áreas costeras de la Isla de Coche (El Oasis, Punta Brasil, San Pedro de Coche) y Península de Araya (Punta Araya, Punta Escarceo, El Rincón, El Manglillo, La Vega, El Guamache) durante los años 1999, 2000 y 2001, talos de *K. alvarezii* flotando libremente en las aguas, o arribados a la playa (Figura 1).

MATERIALES Y METODOS

Los cultivos de *K. alvarezii* en el Estado Sucre se estudiaron en julio de 1999 y los de la Isla de Coche en mayo y diciembre de 2000. En cada muestreo se hicieron observaciones sobre el estado de los cultivos, se colectaron los organismos asociados y se tomaron al azar 30 porciones de algas listas para ser cosechadas. Los ejemplares de *K. alvarezii* colectados en zonas diferentes a las áreas de cultivo, fueron tomados a mano cuando se hallaron arribados a la playa o mediante buceo libre, para



Fig. 1. Localización geográfica de los cultivos de *K. alvarezii* en la Península de Araya, Estado Sucre (Guaranache) y en la Isla de Coche, Estado Nueva Esparta (Playa La Uva). Las zonas sombreadas en el borde costero indican las áreas en las que se han encontrado ejemplares de *K. alvarezii* arribados en la playa entre los años 1999 y 2001.

un total de 254 muestras.

Las algas fueron preservadas mediante refrigeración y con formalina al 5%. La fauna asociada se preservó con formalina al 10%. El procesamiento histológico de *K. alvarezii* y las algas asociadas se realizó según la técnica modificada de Womersley (RAMÍREZ, 1995) y las observaciones se realizaron con una lupa estereoscópica y un microscopio binocular. Para la identificación de las macroalgas se utilizaron las claves de TAYLOR (1960), JOLY (1967) Y APONTE (1985). Los invertebrados se identificaron utilizando el trabajo de GOSNER (1971).

RESULTADOS

Los cultivos estudiados estuvieron conformados por las variedades parda y verde de *K. alvarezii*. En Guaranache estaban en diferentes fases de crecimiento, en tanto que en la Isla de Coche, se hallaban cercanos a la fecha de cosecha (6 semanas desde el momento de la siembra), presentando talos bien desarrollados. Todos los cultivos estaban instalados en aguas abiertas, sin estructuras de contención para limitar el paso de *K. alvarezii* al medio circundante, observándose secciones de las cuerdas de cultivo en las que se habían desprendido implantes completos del alga y pérdida de ramas de las algas cultivadas debido al oleaje y las corrientes.

Las muestras de *K. alvarezii* de arribazón presentaron diferentes tamaños, encontrándose talos de hasta 1,2 Kg

peso fresco en San Pedro de Coche, todas con tejidos sanos.

Los talos de *K. alvarezii* estudiados a nivel citológico mostraron una corteza de pequeñas células pigmentadas dispuestas radialmente, células medulares grandes y un eje central con células rizoidales, ninguna de las muestras presentó estructuras reproductivas. Las algas en general, mostraron un aspecto saludable con numerosas proliferaciones correspondientes a zonas en crecimiento; no se observaron marcas de pastoreo.

Las muestras de *K. alvarezii* se encontraron libres de epibiontes (tanto las algas cultivadas como las de

arribazón), a excepción de cinco ejemplares de arribazón colectados en La Vega (Estado Sucre), los cuales mostraron dos epizoicos, *Lafoea* sp. (Cnidaria) y *Bugula* sp. (Bryozoa), presentes en poca cantidad sobre una cubierta de sedimentos adherida a las porciones menos expuestas de las algas. Se encontraron varias macroalgas creciendo sobre las cuerdas de los cultivos o enredadas (no fijas) en las estructuras y *Kappaphycus* (Tabla 1).

DISCUSIÓN

El alga introducida *K. alvarezii* se ha adaptado bien a las condiciones ambientales de la región nororiental de

Tabla 1. Macroalgas presentes en cultivos de *K. alvarezii* en Guaranache, Estado Sucre, y playa La Uva, Isla de Coche (A = sobre las cuerdas, B = sobre *Kappaphycus*, no epífitas).

Especies	Guaranache	La Uva
Chlorophyta		
<i>Ulva fasciata</i> Delile	A	
<i>Ulva reticulata</i> Forskål		B
<i>Chaetomorpha aerea</i> (Dilwyn) Kützing		B
<i>Cladophora vagabunda</i> (Linneo) C. Hoek		B
<i>Bryopsis pennata</i> Lamouroux	A	A
Phaeophyta		
<i>Dictyota bartayressiana</i> Lamouroux	A	B
<i>Dictyota pulchella</i> Hörning & Schnetter		B
<i>Dictyota volubilis</i> Vickers		B
<i>Lobophora variegata</i> (Lamouroux) Womersley ex Oliveira		B
<i>Spatoglossum schroederi</i> (C. Agardh) Kützing		B
<i>Sargassum vulgare</i> C. Agardh		A
Rhodophyta		
<i>Gracilaria cervicornis</i> (Turner) J. Agardh	A	
<i>Gracilaria lacinulata</i> (West) Howe	A	
<i>Hypnea musciformis</i> Lamouroux	A	B
<i>Hypnea spinella</i> (C. Agardh) Kützing		B
<i>Grateloupia filicina</i> (Lamouroux) C. Agardh	A	
<i>Ceramium flaccidum</i> (Kützing) Ardissonne		B
<i>Chondria dasyphylla</i> (Woodward) C. Agardh		B
<i>Polysiphonia denudata</i> (Dillwyn) Greville	A	

Venezuela y su presencia en diferentes localidades alejadas de los lugares de cultivo son una muestra de su dispersión. Las altas tasas de crecimiento de *K. alvarezii*, su capacidad de reproducirse por fragmentación, su resistencia a la epibiosis y a la herbivoría, son características que favorecen a esta especie como potencial invasora de nuevos territorios (BARRIOS, 1999).

RINCONES & RUBIO (1999) encontraron en la Ensenada de Guaranache tasas de crecimiento para *K. alvarezii* de 4,41 a 7,75% diario, las cuales superan las observadas para cultivos de esta alga en las islas Fiji, como lo demuestra un estudio realizado por LUXTON *et al.* (1987), que obtuvieron en cultivos instalados en siete arrecifes coralinos y en diferentes meses del año, un promedio de 3,4% de crecimiento diario. Se han registrado ejemplares individuales de *Kappaphycus* spp. con frondas de hasta 1 metro de longitud y 5-10 Kg peso fresco, demostrándose en cultivos experimentales que fragmentos de *Kappaphycus* han duplicado su biomasa en 10 días (Woo *et al.* 1999).

La ausencia de algas epífitas en los talos de *K. alvarezii* provenientes de los cultivos, los cuales mostraron una superficie completamente limpia, en contraste con la abundante presencia de algas en las estructuras de cultivo, constituye una muestra de la resistencia que tiene esta especie a la epibiosis. HURTADO-PONCE (1992), en una experiencia de cultivo mixto con el pez carnívoro *Lates calcarifer* y el alga *K. alvarezii* var. *tambalang* por el sistema de jaulas flotantes en Filipinas, obtuvieron después de 5 meses algas abundantemente ramificadas y libres de epífitas.

Por otro lado, la falta de marcas de pastoreo en los talos *K. alvarezii* estudiados en Venezuela, son un indicio de su resistencia al pastoreo por invertebrados y peces herbívoros. En un estudio de la depredación que experimenta *K. alvarezii* por peces arrecifales y otros fitófagos, SERPA-MADRIGAL *et al.* (1997) observaron que esta alga, introducida en Cuba en 1991, es poco sensible al herbivorismo. En experiencias de alimentación de juveniles de camarones *Litopenaeus monodon* con dietas complementadas con *K. alvarezii* y *Gracilaria heteroclada*, se observó que la supervivencia de juveniles alimentados con *K. alvarezii* decrecía a medida que aumentaba la concentración de esta alga de 3 a 10 % en la dieta suministrada (PENAFLORIDA & GOLEZ, 1996).

La ausencia de mallas de contención para impedir la pérdida de talos de *K. alvarezii*, junto a las frecuentes tormentas y marejadas en las zonas de cultivo, han facilitado la dispersión de esta alga. Durante este estudio se observaron en diciembre de 2000 abundantes talos de *K. alvarezii* flotando libremente sobre el sustrato, a profundidades de 1 a 2 metros, en la playa de Punta Arenas (San Pedro, Isla de Coche). En una revisión de la flora bentónica presente en El Rincón de Araya (Estado Sucre), MAZA (2000) encontró talos no fértiles de *K. alvarezii* arribados en la playa durante 6 meses, entre 1997 y 1998.

En la costa sur de la Isla de Margarita, entre Punta Los Algodones y El Guamache de Punta de Piedras, se han detectado desde 1999 arribazones de *K. alvarezii*, reportándose en enero de 2001 una extensa mancha de esta alga en las cercanías del muelle internacional de El Guamache (VÁSQUEZ, 2001). Es posible que el origen de *K. alvarezii* en la Isla de Margarita se deba al transporte accidental o por las corrientes desde la cercana Isla de Coche, no obstante, lo más probable es que su presencia se deba a ensayos de cultivo de esta alga realizados en la Isla de Margarita durante el primer semestre de 1997 (RINCONES & RUBIO, 1999).

Son numerosos los casos en los que el género *Kappaphycus* se presenta como un invasor de nuevos ambientes, así tenemos que RUSSELL (1983) determinó que *Eucheuma striatum* (= *Kappaphycus striatum*) llevada a Hawaii con fines de cultivo en 1974, afectó negativamente los arrecifes de coral de la isla Coconut. En varias localidades de la isla Oahu (Hawaii) fueron introducidos entre 1970 y 1978 implantes de *K. alvarezii* y *K. striatum* con fines comerciales, encontrándose en 1996 que ambas especies habían invadido con éxito áreas distantes a los lugares donde inicialmente habían sido cultivadas, acumulándose gran cantidad de biomasa a profundidades de un metro en lagunas arrecifales, determinándose que el movimiento de las aguas era el factor más importante en su dispersión (RODGERS, 1997). En la bahía Kane'ohe (O'ahu, Hawaii), un estudio de la velocidad de dispersión de las algas invasoras *K. alvarezii* y *K. striatum* mostró que éstas avanzaban con una tasa promedio de 250 m/año, presentando altas abundancias en aguas con moderado movimiento (RODGERS & COX, 1999).

En un estudio del impacto ambiental provocado por varias especies de *Kappaphycus* introducidas en Hawaii,

Woo *et al.* (1999) determinaron que una combinación de las siguientes características en estas algas les confieren su éxito como invasoras: plasticidad fenotípica que favorece su persistencia en ambientes de alta y baja energía, reproducción asexual por fragmentación que incrementa las probabilidades para su dispersión, adaptaciones fisiológicas que les permiten la coalescencia y fijación posterior a un sustrato y características químicas y morfológicas que reducen sus consumo por parte de los herbívoros.

La presencia de *K. alvarezii* en varias localidades de la costa nororiental de Venezuela confirma su adaptación a las condiciones ambientales locales y su dispersión en áreas alejadas a los sitios de cultivo, por lo que se recomienda estudiar los posibles impactos que pudiera generar esta especie introducida.

AGRADECIMIENTO

Gracias al Ministerio del Ambiente, Dirección Estatal Ambiental de los estados Sucre y Nueva Esparta, y a los Comandos Costeros de la Guardia Nacional de Sucre y Nueva Esparta, por facilitar la logística y transporte a los lugares de estudio.

REFERENCIAS

- APONTE, M. 1985. *Evaluación taxonómica de las algas marinas de la costa noreste de la Isla de Margarita*. Trab. Grad. M.Sc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná. Venezuela. 381 pp.
- BARRIOS, J. 1999. La introducción de *Euclidean denticulatum* y *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta) en Venezuela. Una revisión crítica. *Fontus* 4: 135-153.
- DAWES, C. J., A. O. LLUISMA, & G. C. TRONO. 1994. Laboratory field growth of commercial strains of *Euclidean denticulatum* and *Kappaphycus alvarezii* in the Philippines. *J. Appl. Phycol.* 6(1): 21-24.
- DOTY, M. S. 1986. *The production and use of Euclidean*. In: Doty, M.S., Caddy, J. F. and Santelices, B. (Eds.). Case Studies of Seven Commercial Seaweed Resources. FAO Fish, Technical Paper 281, Rome, pp. 123-61.
- GLENN, E. P. & M. S. DOTY. 1990. Growth of the seaweeds *Kappaphycus alvarezii*, *Kappaphycus striatum* and *Euclidean denticulatum* as affected by environment in Hawaii. *Aquaculture* 84: 245-255.
- GOSNER, K. L. 1971. *Guide to identification of marine and estuarine invertebrates: Cape Hatteras to the bay of Fundy*. John Wiley & Sons, Inc. N. Y. USA. 693 pp.
- HURTADO-PONCE, A. Q. 1992. Cage culture of *Kappaphycus alvarezii* var. *tambalang* (Gigartinales, Rhodophyceae). *J. Applied Phycol.* 4: 311-313.
- JOLY, A. B. 1967. *Géneros de algas marinhas da costa atlántica latino-americana*. Edit. Universidad de São Paulo, Brasil. 461 pp.
- LUXTON, D. M., M. ROBERTSON, & M. J. KINDLEY. 1987. Farming of *Euclidean* in the South Pacific islands of Fiji. *Hydrobiologia* 151-152: 359-362.
- MAZA, Y. J. 2000. *Taxonomía de las algas bentónicas de "El Rincón de Araya", Península de Araya, Estado Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. Lic. Biología, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 153 pp.
- PENAFLOIDA, V. D. & N. V. GOLEZ. 1996. Use of seaweed meals from *Kappaphycus alvarezii* and *Gracilaria heteroclada* as binders in diets for juvenile shrimp *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 143(3-4): 393-401.
- RAMÍREZ, M.A. 1995. *Recolección y colecciones científicas de macroalgas marinas*. En: K. Alveal, M. E. Ferrario, E. C. Oliveira y E. Sar (Eds). Manual de Métodos Ficológicos. Universidad de Concepción. Chile. pp. 417-428.
- REVIERS, B. 1989. Realization d'une ferme de culture industrielle de *Euclidean* aux Maldivas. *Oceanogr. Doc. Oceanogr.* 15(5): 749-752.
- RINCONES, R. E. & J. N. RUBIO. 1999. Introduction and commercial cultivation of the red alga *Euclidean* in Venezuela for the production of phycocolloids. *World Aquac.* 30(2): 57-61.
- RODGERS, S. K. 1997. Oahu's invasive algae. *Aliens*. 6: 10.

- _____, & E. F., COX. 1999. Rate of spread of introduced Rhodophytes *Kappaphycus alvarezii*, *Kappaphycus striatum*, and *Gracilaria salicornia* and their current distributions in Kane'ohē Bay, O'ahu, Hawaii. *Pac. Sci.* 53(3): 232-241.
- RUSSELL, D. J. 1983. Ecology of the imported red seaweed *Eucheuma striatum* Schmitz on Coconut Island, Oahu, Hawaii. *Pac. Sci.* 27: 87-107.
- SERPA-MADRIGAL, A., A. J. ARECES, M. CANO & G. BUSTAMANTE. 1997. Depredación sobre las carragenofitas comerciales *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty y *Kappaphycus striatum* (Schmitz) Doty (Rhodophyta, Gigartinales) introducidas en Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 18(1): 65-69.
- TAYLOR, W. R. 1960. *Marine algae of the eastern tropical and subtropical coast of the Americas*. Lord Baltimore Press, INC., University of Michigan, USA. 870 pp.
- TRONO, G. C. 1993. *Eucheuma and Kappaphycus: Taxonomy and cultivation*. In: Masao O. and A.T. Critchley (Eds). Seaweed cultivation and marine ranching. Capitulo 8, JICA, Japan. pp. 75-88.
- VÁSQUEZ, G. 2001. *Informe de Inspección GV-01-2-2001*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Dirección Estatal Ambiental, Nueva Esparta, Venezuela. 3 pp.
- WOO, M., C. SMITH & W. SMITH. 1999. *Ecological interactions and impacts of invasive Kappaphycus spp., in Kane'Ohe Bay, a tropical reef*. En: J. Pederson (Ed.). Proc. of the First National Conference on Marine Bioinvaders, January 24-27, 1999. MIT Sea Grant College Program. Cambridge, USA. pp. 186-192.

RECIBIDO: julio 2005

ACEPTADO: septiembre de 2005

BLANQUEAMIENTO DE ARRECIFES CORALINOS POR LA INVASIÓN DE *KAPPAPHYCUS ALVAREZII* (RHODOPHYTA) EN ISLA CUBAGUA, ESTADO NUEVA ESPARTA, VENEZUELA.

¹JORGE BARRIOS, ²JUÁN BOLAÑOS & ²RÉGULO LÓPEZ

¹*Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
jebar@ sucre.udo.edu.ve*

²*Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Isla de Margarita.*

RESUMEN: El alga exótica *K. alvarezii* generó polémicas por su introducción en Venezuela, ya que sus características fisiológicas y estructurales le permiten colonizar con éxito nuevos ambientes. Una inspección de los arrecifes coralinos de la isla Cubagua en agosto y diciembre de 2007, por medio de buceo y con la ayuda de un registro fotográfico, permitió detectar la presencia de *K. alvarezii* creciendo sobre el coral de fuego *Millepora alcicornis*. Se observaron cambios en la morfología de *K. alvarezii* y blanqueamiento del coral en las zonas de contacto con el alga. El crecimiento de *K. alvarezii* en comunidades coralinas en Venezuela constituye el segundo registro mundial sobre la invasión de esta alga en estos ecosistemas y la primera referencia de este problema en el mar Caribe.

Palabras clave: Introducciones, cultivos, algas

ABSTRACT: The exotic alga *K. alvarezii* generated controversy after its introduction in Venezuela for its physiological and structural characteristics allowed it to successfully colonize new areas. An inspection of the coral reefs in the Island of Cubagua in August and December 2007, using SCUBA equipment and the help of photographic records, allowed the detection of *K. alvarezii* growing on the fire coral, *Millepora alcicornis*. Several changes were observed in the morphology of the alga, and the part of the coral in contact with the alga was bleached. The growth of *K. alvarezii* on coralline communities in Venezuela represents the second world record of invasion of this type of ecosystems by this alga and the first reference of this problem in the Caribbean Sea.

Key words: Introductions, culture, alga

El alga *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex Silva (Rhodophyta, Solieraceae) es natural del Archipiélago de Sulú, Filipinas, en donde su hábitat natural son los arrecifes coralinos (ATMADJA 2001). Esta especie es importante comercialmente, constituyendo junto al alga *Eucheuma denticulatum* cerca del 88% de la fuente mundial para la obtención de carragenina (McHUGH 2003). Los bajos costos y facilidades de propagación de *K. alvarezii* y el aumento significativo de la demanda de carragenina, han estimulado el cultivo de esta alga fuera de los límites de la región del Indo-Pacífico (DOTY 1987; ASK & AZANZA 2002).

La introducción de *K. alvarezii* en Venezuela con fines comerciales en 1996 (RINCONES & RUBIO 1999) generó polémicas por los potenciales riesgos ambientales que pudiera generar su cultivo (BARRIOS 1999). El establecimiento de esta alga en nuestras costas fue

demostrado por la aparición de ejemplares de *K. alvarezii* en áreas alejadas de los cultivos iniciales, observándose ejemplares saludables en arribazones en diferentes puntos de la costa de los estados Sucre y Nueva Esparta (BARRIOS 2005).

Durante una inspección de los arrecifes coralinos en la costa noreste de la isla Cubagua en agosto de 2007, mediante técnicas de buceo en apnea y autónomo, y un posterior registro fotográfico submarino del área en diciembre de 2007 utilizando una cámara digital de alta resolución, se detectó el morfotipo verde de *K. alvarezii* creciendo sobre formaciones arrecifales de coral de fuego *Millepora alcicornis* entre 1 y 2 metros de profundidad (Fig. 1). El área coralina afectada es extensa y la cobertura de las algas es variable, notándose en algunas porciones de coral un recubrimiento total. Una revisión *in situ*



Fig. 1. Vista parcial del arrecife coralino en isla Cubagua invadido por el alga exótica *Kappaphycus alvarezii*.

permitió observar una adherencia firme del alga sobre el coral, el cual, una vez desprendida el alga, presentó zonas muertas con evidente blanqueamiento (Fig. 2). La morfología del alga adherida al coral ha variado notablemente, mostrando una forma aplanada con pocas proliferaciones, adaptándose al substrato, creciendo entre los espacios y ramificaciones de *M. alcornis*. Se observaron marcas de pastoreo y formación de callos en la superficie del alga (Fig. 3), en ocasiones se encontraron talos con morfología mixta, con áreas de crecimiento arborescente típico en porciones del coral protegidas y áreas decumbentes planas en áreas descubiertas. En otras zonas con substratos arenosos y praderas de *Thalassia testudinum* se observaron talos de morfología arborescente creciendo libremente.

El coral de fuego *M. alcornis* es un componente dominante en las comunidades coralinas del oriente de Venezuela, en donde es común encontrarlo junto a corales hermatípicos, por lo general forma colonias en áreas de aguas tranquilas, escasa profundidad e intensa iluminación, mostrando adaptaciones morfológicas que lo hacen resistente a elevadas tasas de suspensión de sedimentos (OLIVARES & LEONARD 1971; PAULS 1982; SANT *et al.* 2002). La estructura de *M. alcornis* permite la existencia de una gran variedad de organismos asociados que incrementa la biodiversidad de las áreas en las que se encuentra (CASTRO *et al.* 2006).

Algunos investigadores señalan que los datos disponibles hasta los momentos en relación a la introducción de *K. alvarezii* con fines de cultivo, no son



Fig. 2. Colonia de coral de fuego *Millepora alcicornis* mostrando blanqueamiento en áreas de contacto con *Kappaphycus alvarezii*.

suficientes para considerar a esta especie peligrosa para el ambiente y promueven su introducción (OLIVEIRA 1990; BELLORÍN & OLIVEIRA 2001). Al respecto, McHUGH (2002) señala que el cultivo de *K. alvarezii* en diferentes países no ha generado impactos negativos en el ambiente y sugiere que hasta puede proteger la diversidad biológica de forma indirecta al evitar que los nativos sobreexploten los recursos naturales al tener una fuente de ingresos segura. Otros trabajos muestran a esta especie como inocua para el ambiente, así tenemos que DOTY (1985) señala que los fragmentos del alga desprendidos de los cultivos y dispersados por las corrientes son incapaces de fijarse, en tanto que PAULA *et al.* (2002) indican la ausencia de dispersión y colonización de esta especie.

La invasión y daño de arrecifes coralinos por *K.*

alvarezii registrada para la isla de Cubagua demuestran lo peligroso que puede ser esta alga para la biodiversidad. Por otra parte, existen advertencias previas sobre el efecto de la invasión de *Kappaphycus* spp. en zonas coralinas (RUSSELL 1983; RODGERS 1997).

Entre las características que hacen que estas algas colonicen exitosamente nuevos ambientes tenemos su plasticidad fenotípica, elevadas tasas de crecimiento, producción de compuestos halogenados que reducen su consumo por los herbívoros y capacidad de coalescencia que permite que algas no fijadas al fondo se establezcan sobre el sustrato (Woo *et al.* 1999). Varias especies de *Kappaphycus* introducidas con fines de cultivo en Hawaii se han dispersado y establecido sobre arrecifes coralinos, provocando la muerte de los corales por sombreamiento,



Fig. 3. Ejemplar de *Kappaphycus alvarezii* mostrando marcas de herbivoría.

observándose coberturas de estas algas sobre los corales de hasta un 80%, lo que ha generado un alerta sobre el peligro que corren los arrecifes del archipiélago (CONKLIN & SMITH 2005).

Lo amplio de la zona coralina afectada en Cubagua es un indicio de que el proceso de degradación del arrecife por la invasión de *K. alvarezii* lleva bastante tiempo, ya han transcurrido 11 años desde la introducción de esta especie y se puede considerar a escala temporal que su establecimiento ha sido rápido y exitoso. Es muy probable que otros arrecifes coralinos de las islas de Margarita, Coche y Cubagua presenten crecimientos de *K. alvarezii*. CARLTON (1996) comenta que muchas invasiones ocurren después de muchos años de introducciones desde la fuente hasta la región que recibe al invasor, paradójicamente el

caso de *K. alvarezii* en Venezuela se presentó a partir de una sola introducción. Considerando que el cultivo de esta especie ha sido exitosa en muchas regiones del planeta a partir del trasplante inicial de cantidades modestas del alga, y que en este trabajo se describe su establecimiento sobre arrecifes coralinos, se debería redimensionar su potencial invasor.

RODGERS & COX (1999) encontraron desplazamientos laterales de *K. alvarezii* en arrecifes coralinos invadidos en Hawaii a una tasa de 250 m/año desde el punto inicial de introducción en 1974, por otro lado SMITH *et al.* (2002) han discutido la aparente incapacidad de *Kappaphycus* spp. para dispersarse en largas distancias o entre islas, aunque puntualizan la capacidad de regeneración de talos completos de esta alga a partir de fragmentos de 0,5 cm. El

descubrimiento de *K. alvarezii* en Cubagua, isla relativamente alejada a los lugares de cultivos iniciales, aumenta el rango de dispersión descrito inicialmente por BARRIOS (2005) y es evidencia del posible traslado de esta especie invasora a lugares distantes. Un factor determinante en la dispersión de *K. alvarezii* en Venezuela, adicional al traslado de inóculos por las corrientes marinas, lo constituyen las artes de pesca como redes y chinchorros playeros, que permiten transportar fragmentos viables del alga de un lugar a otro.

El control de *K. alvarezii* es difícil debido a sus elevadas tasas de crecimiento y capacidad de regeneración. En áreas de coral de Hawaii relativamente accesibles, invadidas por *Kappaphycus* spp. y en las que se ha determinado una biomasa promedio de 10 kg/m², la remoción manual del alga requiere la participación de dos personas por hora para limpiar un metro cuadrado, observándose posteriormente que el alga vuelve a crecer a partir de los pequeños fragmentos adheridos al coral, los cuales no son consumidos por los peces herbívoros nativos debido a la baja palatabilidad del alga, sugiriéndose el uso de erizos para controlar el alga invasora (CONKLIN & SMITH 2005).

Debido a que previamente se conocía la invasión de arrecifes coralinos por *K. alvarezii* en Hawaii, la presencia de esta especie afectando corales en Cubagua constituye el segundo registro mundial sobre la invasión de esta alga en comunidades arrecifales y la primera referencia de este problema en el mar Caribe.

Se recomienda un monitoreo de los arrecifes coralinos en Cubagua para evaluar la cobertura de *K. alvarezii*, la extensión del blanqueamiento y las especies asociadas afectadas por la presencia de esta alga, y la implementación de medidas para minimizar los daños en este ecosistema. Adicionalmente se debe iniciar una inspección extensiva de otras comunidades coralinas en la región nororiental de Venezuela para conocer la presencia de esta especie invasora.

REFERENCIAS

- ASK, E.I. & R.V. AZANZA. 2002. Advances in cultivation technology of commercial euclidean species: a review with suggestions for future research. *Aquaculture* 206: 257-277.
- ATMADJA, W. S. 2001. *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex Silva. In: Prud'homme van Reine W.F. and G.C. Trono (eds.). *Plant resources of South-East Asia 15(1). Cryptogams: Algae*. Backhuys Publishers Leiden, The Netherlands. pp. 215-219.
- BARRIOS, J. 1999. La introducción de *Euclidean denticulatum* y *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta) en Venezuela. Una revisión crítica. *Fontus* 4: 135-153.
- _____. 2005. Dispersión del alga *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta) en la región nororiental de Venezuela. *Bol. Inst. Oceanog. Venezuela Univ. Oriente*. 44: 29-34.
- BELLORIN, A. & E. OLIVEIRA. 2001. Introducción de especies exóticas de algas marinas: Situación en América Latina. En: Alveal, K. & T. Antezana (eds). *Sustentabilidad de la Biodiversidad, un problema actual. Bases científico-técnicas, teorizaciones y proyecciones*. Ediciones Cosmigonon. Universidad de Concepción, Chile. pp. 693-701.
- CARLTON, J. T. 1996. Pattern, process and prediction in marine invasion ecology. *Biol. Conserv.* 78: 97-106.
- CASTRO C., M. MONROY & O. D. SOLANO. 2006. Estructura de la comunidad epifaunal asociada a colonias de vida libre del hidrocoral *Millepora alcicornis* LINNAEUS 1758 en Bahía Portete, Caribe Colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 35: 195-206.
- CONKLIN, E. & J. SMITH. 2005. Abundance and spread of the invasive red algae *Kappaphycus* spp. in Kane'ohe bay, Hawaii's and experimental assessment of management options. *Biol. Invasions* 7(6): 1029-1039.
- DOTY, M. S. 1985. *Euclidean alvarezii* sp. nov. (Gigartinales, Rhodophyta) from Malaysia. In: I.A. Abbott & J. Norris (eds). *Taxonomy of economic seaweeds*. Cal. Sea Grant College Program. La Jolla, California, USA. pp. 37-45.
- _____. 1987. The production and use of *Euclidean*. In: Doty M.S, Caddy J.F. & Santelices B (eds). *Case studies of seven commercial seaweed resources*. FAO Fisheries Technical Paper. 281: 123-161.

- McHUGH, D. J. 2002. *Perspectivas para la producción de algas marinas en los países en desarrollo*. FAO Circulares de Pesca, C968. Roma, Italia. 30 pp.
- _____. 2003. *A guide to the seaweed industry*. FAO Fisheries Technical Paper. Rome, Italia. 105 pp.
- OLIVARES, M. A. & A. B. LEONARD. 1971. Algunos corales pétreos de la Bahía de Mochima, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr.* 10(1): 49-70.
- OLIVEIRA, E. C. 1990. The rationale for seaweed cultivation in South America. In: Oliveira, E.C. and N. Kautsky (Eds.) *Cultivation of seaweeds in Latin America*. Universidad de São Paulo, São Paulo, Brasil. pp. 135-141.
- PAULA, E. J., R. T. L. PEREIRA & M. OHNO. 2002. Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) introduced in subtropical waters of São Paulo State, Brazil. *Phycol. Res.* 50: 1-9.
- PAULS, S. 1982. *Estructura de las comunidades coralinas de la Bahía de Mochima, Venezuela*. Trab. Grado M.Sc. Ciencias Marinas. Universidad de Oriente, Cumaná. 124 pp.
- RINCONES, R. E. & J. N. RUBIO. 1999. Introduction and commercial cultivation of the red alga *Eucheuma* in Venezuela for the production of phycocolloids. *World Aquaculture* 30(2): 57-61.
- RODGERS, S. K. 1997. Oahu's invasive algae. *Aliens* 6: 10.
- _____. & E. F. COX. 1999. Rate of spread of introduced Rhodophytes *Kappaphycus alvarezii*, *Kappaphycus striatum*, and *Gracilaria salicornia* and their current distributions in Kane'ohe Bay, O'ahu, Hawaii. *Pac. Sci.* 53(3): 232-241.
- RUSSELL, D.J. 1983. Ecology of the imported red seaweed *Eucheuma striatum* Schmitz on Coconut Island, Oahu, Hawaii. *Pac. Sci.* 27: 87-107.
- SANT S., A. PRIETO & E. DE ELGUEZABAL. 2002. Composición y estructura de la comunidad de corales en dos localidades del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela* 41(1-2): 39-44.
- SMITH, J. E., C. L. HUNTER & C. M. SMITH. 2002. Distribution and reproductive characteristics of nonindigenous and invasive marine algae in the Hawaiian islands. *Pac. Sci.* 56(3): 299-315.
- WOO, M., C. SMITH & W. SMITH. 1999. Ecological interactions and impacts of invasive *Kappaphycus striatum* in Kane'ohe Bay, a tropical reef. En: Pederson, J. (ed.). *Proce. First Nat. Conf. Mar. Bioinvaders*. MIT Sea Grant Program, Cambridge, Massachusetts, USA. pp 186-191.

RECIBIDO: Octubre 2007

ACEPTADO: diciembre 2007

Composición química y biotoxicidad del alga roja *Kappaphycus alvarezii* Doty (Solieriaceae)


Chemical composition and biotoxicity of red algae *Kappaphycus alvarezii* Doty (Solieriaceae)

D'Armas Haydelba^{1,2}, Neyra Marylin², Segnini Mary Isabel³, Brito Leonor³, Barrios Jorge³

¹Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Estatal de Milagro, Provincia de Guayas, Ecuador

²Departamento de Química, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente, estado Sucre, Venezuela

³Departamento de Biología Marina, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, estado Sucre, Venezuela

Correspondencia: Haydelba T. D'Armas R.  E-mail: hdamasr@gmail.com

Artículo original | Original article

Palabras clave

Artemia salina

Fitoquímica

Kappaphycus alvarezii

Metabolitos secundarios

Toxicidad

RESUMEN | Se realizó un estudio fitoquímico y de bioactividad a los extractos en cloroformo, acetato de etilo y metanol del alga *Kappaphycus alvarezii* Doty (recolectada en la Isla de Cubagua, Venezuela). Los valores de CL₅₀ en el bioensayo realizado con todos los extractos obtenidos, mostraron toxicidad ante larvas del crustáceo *Artemia salina* (CL₅₀ < 300 µg.ml⁻¹). Mediante cromatografías en columna y capa fina preparativa, se fraccionaron continuamente los extractos en cloroformo y en acetato de etilo, analizándose algunas subfracciones obtenidas mediante CG-EM e identificándose algunos de sus constituyentes por sus patrones de fragmentación y comparación de sus espectros de masas con los existentes en la base de datos. Encontrándose que la fracción A2 proveniente del extracto en acetato de etilo presentó como componentes mayoritarios al ácido hexadecanoico, dibutilftalato y el compuesto esteroideal colestano; además de 2,6-diter-butilciclohexa-2,5-dieno-1,4-diona, 6,10,14-trimetil-2-pentadecanona, ácido 2-fenilacético y 1-(1-propoxi) propano. Mientras que la fracción FD del extracto en cloroformo exhibió a los ácidos grasos saturados palmítico, esteárico y mirístico, como componentes abundantes; y en menor proporción a la 3-etil-4-metil-1H-pirrol-2,5-diona. En la fracción EM7 proveniente del fraccionamiento del extracto metanólico, se logró identificar al ácido octadecanoico a través de RMN uni y bidimensional. En la fracción FG del extracto en cloroformo, se caracterizó al 1-fenilbutan-1-ol, mediante esta misma técnica espectroscópica. Los distintos metabolitos secundarios identificados constituyen el primer reporte para *K. alvarezii* y posiblemente sean los responsables de la bioactividad *in vitro* observada. Se puede inferir que esta alga roja es una fuente promisoría de compuestos bioactivos.

Keywords

Artemia salina

Phytochemistry

Kappaphycus alvarezii

Secondary metabolites

Toxicity

ABSTRACT | A phytochemical and bioactivity study was carried out on the chloroform, ethyl acetate and methanol extracts of the *Kappaphycus alvarezii* Doty algae (collected on the Island of Cubagua, Venezuela). The LC₅₀ values obtained in the bioassay performed with all the extracts, showed toxicity to crustacean larvae *Artemia salina* (LC₅₀ < 300 µg.ml⁻¹). By means of column chromatography and preparative thin layer, the extracts were continuously fractionated with chloroform and ethyl acetate, some sub-fractions obtained by GC-MS were analyzed, and some of their constituents were identified by their fragmentation patterns and comparison of their mass spectra with the existing in the database. Finding that fraction A2 from the ethyl acetate extract showed hexadecanoic acid, dibutyl phthalate and the steroidal compound cholestane as major components; in addition to 2,6-diter-butylcyclohexa-2,5-diene-1,4-dione, 6,10,14-trimethyl-2-pentadecanone, 2- phenylacetic acid and 1- (1-propoxy) propane as minor components. While the FD fraction of the chloroform extract exhibited saturated palmitic, stearic and myristic fatty acids as abundant components, and 3-ethyl-4-methyl-1H-pyrrole-2,5-dione in smaller proportion. Octadecanoic acid was identified in the EM7 fraction from the methanolic extract through uni and two-dimensional NMR. 1-phenylbutan-1-ol was characterized by the same spectroscopic technique in the FG fraction of the chloroform extract. The different secondary metabolites identified are the first report for *K. alvarezii* and are possibly responsible for the *in vitro* bioactivity observed. It can be inferred that this red algae is a promising source of bioactive compounds.

INTRODUCCIÓN

Los organismos marinos se han revelado como una fuente importante de sustancias bioactivas, de gran valor para el tratamiento de numerosas enfermedades por sus propiedades terapéuticas (antivirales, antiinflamatorias, antioxidantes, antibióticas, entre otras). Dentro de ellos, se encuentran las algas de agua dulce y marinas, las cuales han desarrollado estrategias de defensa que dan lugar a un nivel significativo de diferentes estructuras químicas, de diversas rutas metabólicas (Puglisi *et al.*, 2004; Barros *et al.*, 2005). Encontrándose grupos de metabolitos como: diterpenos, eicosanoides, lectinas, esteroides y alcaloides (Lenis *et al.*, 2007). La biodiversidad de las especies de algas marinas, junto a la diversidad química encontrada en cada especie, constituye un recurso prácticamente ilimitado que puede ser utilizado de forma beneficiosa, para el desarrollo de biofármacos antitumorales, antivirales y antibióticos (Valdés *et al.*, 2003).

En relación con bioproductos provenientes de algas, las tendencias recientes en la investigación de las drogas procedentes de fuentes naturales, sugieren que las algas son un grupo prometedor para suministrar nuevas sustancias bioquímicamente activas (Mayer y Hamann, 2004; Mayer y Hamann, 2005; Singh *et al.*, 2003). Siendo numerosas las revisiones que señalan a las algas como uno de los principales productores de compuestos bioactivos (Faulkner, 2002), en algunos casos con estructuras moleculares no encontradas en otros organismos, con posibles usos antibacterianos, anticancerígenos, cardioprotectores, antivirales, antitumorales, antiinflamatorios y anticoagulantes, entre otros (Freile, 2001). Desde el punto de vista ambiental, el cultivo y explotación de algas marinas representan una actividad amigable al medio ambiente, ya que no genera desechos ni efluentes; aumenta, asimismo, la biodiversidad local al servir como sustrato y refugio a numerosas especies de peces e invertebrados y diversifica las actividades productivas tradicionales, reduciendo la pesca de ciertas especies amenazadas como las tortugas marinas, caracol de pala y langosta (Ondarza y Rincones, 2008).

Cabe destacar, que son muy pocas las publicaciones científicas realizadas en Venezuela, en las que se hayan caracterizado metabolitos provenientes de algas marinas de costas venezolanas y determinado su actividad biológica, pudiendo así establecerse el mecanismo de acción de esos compuestos activos identificados. Entre los que se encuentra el estudio de la actividad antimicrobiana de macroalgas marinas del Oriente de Venezuela, concluyéndose que las tres especies de algas rojas *Gracilariopsis tenuifrons*, *Gelidium serrulatum* y *Kappaphycus alvarezii* producen metabolitos secundarios con actividad antimicrobiana (Brito y Crescente, 2009). Las especies de algas invasoras y comercialmente importantes, pertenecen a la familia Solieriaceae; *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex Silva (Gigartinales, Rhodophyta), es una de las carragenofitas cultivadas que ha tenido mayor éxito en mares tropicales, constituyendo la principal fuente mundial de materia prima para la producción de carragenina kappa-I (Estévez *et al.*, 2000).

Todos los trabajos de investigación existentes de *K. alvarezii*, hacen referencia a aspectos taxonómicos, biológicos, de cultivo, respecto a sus propiedades antioxidantes (Suresh *et al.*, 2007; Kanatt *et al.*, 2015) y antiinflamatoria (Ranganayaki *et al.*, 2014), caracterización biológica y química (Pérez, 2013); así como estudios químicos enfocados a la identificación de los polisacáridos que presenta (Pereira *et al.*, 2007), principalmente en el aspecto económico de producción. Acerca de la identificación de algunos metabolitos secundarios, su caracterización, así como la determinación de la actividad biológica, solo se ha realizado una investigación, donde las muestras de *K. alvarezii* provenían del estado Nueva Esparta (Venezuela), donde se identificaron el 5- octadeceno, el 1- octadeceno y el eicosiltriclorosilano entre otros; determinándose además la actividad antibacteriana (Brito y Crescente, 2009). Además, en otro estudio realizado por Prabha *et al.* (2013) a esta alga marina recolectada en la región Mandabam (India), se caracterizaron algunos compuestos bioactivos en extractos de tres solventes distintos con sensibilidad antimicrobiana.

Una evaluación del potencial letal o tóxico, y la caracterización química de sus metabolitos secundarios, aporta información científica relevante y abre la posibilidad de concretar investigaciones en biotecnología marina, con aplicaciones en la industria farmacéutica y nutracéutica. Es de gran importancia el cultivo *in situ* (en el mar y en tanques) de esta especie, a fin de disponer de la materia prima necesaria, obtener un

desarrollo sostenible en la zona costera, y un producto atractivo para la industria que dé oportunidades económicas a los cultivadores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de la muestra

Kappaphycus alvarezii (Doty) Doty ex Silva (Gigartinales, Rhodophyta) fue recolectada en las aguas costeras de Cubagua, municipio Tubores, estado Nueva Esparta, Venezuela, a 10°50'23" Lat. N y 64°05'08" Lat. W, por el Prof. Jorge Barrios del Instituto Oceanográfico de Venezuela (I.O.V.), quién realizó también la identificación taxonómica. Fue almacenada en una cava con hielo y trasladada al Laboratorio de Productos Naturales y Lípidos, para su respectivo análisis. La cantidad de muestra algal total de los muestreos fue de 5 Kg, aproximadamente, en masa húmeda.

Obtención de los extractos del alga

El material vegetal recolectado fue lavado varias veces con abundante agua destilada, se deshidrató a temperatura ambiente y a la sombra durante un período de 5 días. Luego, se procedió a pulverizarla en un molino eléctrico y se pesó la muestra en una balanza analítica. Los diferentes metabolitos secundarios o principios activos se extrajeron exhaustivamente con 500 mL de éter de petróleo, por espacio de 72 horas; posteriormente, se separó el filtrado y el residuo se maceró o volvió a re-extraer sucesivamente con 500 mL de cada uno de los solventes más polares (polaridad creciente de cloroformo, acetato de etilo y metanol), siguiendo el proceso de extracción anteriormente señalado. Cada uno de los filtrados se combinaron y fueron concentrados a presión reducida en un rotaevaporador Hildolph a una temperatura menor de 45°C, obteniéndose los extractos crudos en los distintos solventes, se pesaron y almacenaron bajo refrigeración para análisis posteriores.

Actividad tóxica contra *Artemia salina*

Se preparó una solución de 10 000 µg/ml del extracto, en una mezcla H₂O/DMSO según la solubilidad de éste y, a partir de ésta, se prepararon soluciones de 1 000 - 0,01 µg/ml mediante diluciones sucesivas con agua de mar bifiltrada, en viales que contenían 10 nauplios de *A. salina*, eclosionados con 24 horas de anticipación. Por cada concentración, se realizaron tres réplicas y un control con igual número de réplicas. La cuantificación de la mortalidad de los nauplios se llevó a cabo pasadas las 24 y 48 horas de haber montado dicho ensayo. Los datos obtenidos se utilizaron para calcular la concentración letal media de los extractos y fracciones ensayadas, mediante la aplicación del software LC50 V2.5 diseñado para tal fin, que considera los análisis estadísticos computarizados (Probit, Binomial, Logit y Moving Average) con límites de confianza de 95 % (Stephan, 1977; Meyer *et al.*, 1982).

Fraccionamiento del extracto más letal o tóxico

Para el aislamiento de los metabolitos secundarios, provenientes de los extractos del alga, se llevó a cabo el respectivo fraccionamiento, mediante las técnicas Comatográficas de Columna (con sílica gel 75 mesh a una proporción m/m sílica: muestra de 1:30 y mezclas de solventes de distintas polaridades, según fuese el caso) y Capa Fina Preparativa (en placas de vidrio de 20x20 cm² recubiertas con sílica gel 60 mesh, con un espesor de 0,5 mm, y mezclas de solventes en diferentes proporciones como fases móviles).

Cromatografía de gases- espectrometría de masas (CG-EM)

Distintas fracciones de los extractos del alga *K. alvarezii*, fueron analizadas por esta técnica. Las cromatografías de gases acoplada a espectrometría de masas se realizaron en un equipo marca VARIAN modelo Saturno 2000, con una fuente de ionización por impacto electrónico (70 eV) y un detector de trampa de iones. Se utilizó una columna de CP-SIL-8CB-MS de 30 m x 0,25 D.I y helio (He) como gas de arrastre. Se inyectó una muestra de 1 µL a la columna capilar. La temperatura del inyector fue de 280°C, la

temperatura inicial del horno fue de 100 °C con una rapidez de calentamiento de 5 °C por minuto, hasta llegar a una temperatura final de 295°C. Posteriormente, la identificación de los componentes se realizó por comparación computarizada con las librerías WILEY y NIST.

Espectroscopia de RMN

Los metabolitos aislados y/o fracciones obtenidas fueron analizados en un equipo de RMN marca Bruker AVANCE de 400 MHz de la Universidad Simón Bolívar (USB), así como también en el equipo de RMN marca Bruker AVANCE de 300 MHz perteneciente al Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Para la obtención de estos espectros, las muestras fueron disueltas en un solvente deuterado y colocadas en un tubo de resonancia, el cual se introdujo en el equipo de RMN. Para la obtención de un buen espectro se disolvieron entre 5-10 mg de muestra en un volumen de 0,65 mL, que equivalen a una altura en el tubo de resonancia de 5 cm. Los desplazamientos químicos (δ) obtenidos en los espectros de ^1H y ^{13}C , se reportaron en ppm relativo a un estándar interno de tetrametilsilano (TMS). También, se empleó el experimento Distortionless Enhancement through Polarization Transfer (DEPT).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividad tóxica de *K. alvarezii* frente al crustáceo *Artemia salina*

Las concentraciones letales media (CL_{50}) de los extractos del alga *K. alvarezii* frente a *Artemia salina*, luego de 24 y 48 horas de exposición, se muestran en la Tabla 1. Al haber transcurrido las primeras 24 horas ya se observaba un efecto tóxico de los extractos del alga en las larvas. El resultado de mortalidad de las larvas significa la existencia de grupos de compuestos potencialmente activos. El CL_{50} obtenido para el extracto en acetato de etilo de ($6,85 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$), permite posicionarlo como un blanco para posteriores estudios farmacológicos con los cuales se puedan aprovechar las propiedades terapéuticas que se le adjudican a *K. alvarezii*. Un extracto o sustancia es considerada potencialmente útil como citotóxico, cuando su CL_{50} es $\leq 30 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ (Meyer *et al.*, 1982), aunque un $\text{CL}_{50} < 1\ 000 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ se considera significativo o no despreciable. Cabe mencionar que el bioensayo basado en nauplios de *A. salina* presenta una correlación positiva con la citotoxicidad frente a las células 9KB (carcinoma nasofaríngeo humano) y la línea celular 3PS (P388) (leucemia *in vivo*) (McLaughlin *et al.*, 1998). También se ha empleado este ensayo con éxito en la búsqueda de compuestos citotóxicos del tipo de las acetogeninas (Amaro *et al.*, 2009).

Por otro lado, el extracto en cloroformo presentó el mayor CL_{50} a las 48 horas ($461,82 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$); está concentración letal media es baja en comparación con la que exhibió el de acetato de etilo. Considerando el efecto tóxico de todos los extractos ante el crustáceo y analizando los valores de CL_{50} obtenidos, se puede inferir que todos son significativos y posiblemente letales o tóxicos, debido a que están en el rango de 100-1 000 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$.

Tabla 1 Actividad biotóxica de los extractos crudos de *K. alvarezii* contra *A. salina*.

Crustáceo	Extracto	$\text{CL}_{50}(\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1})$		Intervalo de confianza 95%
		24 horas	48 horas	
<i>Artemia salina</i>	EC	945,23	461,82	100-1000
	EAE	784,15	6,85	0,10-1000
	EM	816,30	152,88	96,6-253,73

EC: Extracto en cloroformo, EAE: Extracto en acetato de etilo, EM: Extracto en metanol.

De acuerdo a los resultados obtenidos del efecto de toxicidad de los extractos de *K. alvarezii* frente a éste crustáceo, se pudo comprobar que es un ensayo general de amplio uso que determina el efecto letal de los extractos en las larvas de *A. salina* y así predecir un efecto potencial primario de los compuestos químicos, presentes en los extractos. Pudiendo dar inicio a estudios posteriores en líneas celulares cancerígenas en cultivos de tejidos, efecto insecticida o pesticida y ejercer un amplio rango de actividades farmacológicas (Parra *et al.*, 2001; Pino, y Lazo, 2010).

Caracterización estructural

La fracción D, reveló una concentración letal media, considerablemente alta, en el bioensayo de toxicidad realizado, con un CL_{50} de 24,91 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$, después de 24 horas de exponer las larvas de *A. salina* ante esta fracción (CL_{50} de 4,38 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$, a las 48 horas). Debido a su actividad tóxica y a que la CCF mostró dos manchas con R_f definidos, esta fracción fue seleccionada para ser analizada por CG-EM.

El cromatograma de la fracción D evidenció que se trataba mayormente de una mezcla de seis compuestos, entre los cuales se logró identificar los que estaban presentes en mayor abundancia, siendo éstos: 3-etil-4-metil-1H-pirrole-2,5-diona (I) y los ácidos tetradecanoico (II), hexadecanoico (III) y octadecanoico (IV), a los tiempos de retención que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 Compuestos identificados en la fracción D mediante CG-EM.

Pico	Tr(min)	M	Compuesto	Grupo Químico	Fórmula molecular
I	7,60	139	3-etil-4-metil-1H-pirrole-2,5-diona	Cetona	$\text{C}_7\text{H}_9\text{NO}_2$
II	12,99	228	Ácido tetradecanoico	Ácido graso	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$
III	15,12	256	Ácido hexadecanoico	Ácido graso	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$
IV	16,39	284	Ácido octadecanoico	Ácido graso	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$

El espectro de masas del metabolito, 3-etil-4-metil-1H-pirrole-2,5-diona, de la fracción D (Tr =7,60 minutos), desplegó un ión molecular a m/z 139 $[\text{M}^+]$, y los fragmentos correspondientes a los picos de los iones más abundantes a m/z 124 y 53. El espectro de masas del ácido tetradecanoico, de la fracción D (Tr= 12,986), exhibió un ión molecular a m/z 228 $[\text{M}^+]$, y los fragmentos correspondientes a los picos de los iones más abundantes a m/z 185, 129, y 73 (pico base).

El tercer pico observado en el cromatograma, que aparece en mayor abundancia respecto a todos los compuestos identificados en la fracción D, a un tiempo de retención de 15,12 minutos, corresponde al ácido hexadecanoico (III). El espectro de masas de este compuesto mostró un ión molecular a m/z 256 $[\text{M}^+]$, el cual corresponde a la fórmula molecular $\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$ y los picos correspondientes a los iones más abundantes se observaron a m/z 227 $[\text{M}^+-\text{C}_2\text{H}_5]$, 213 $[\text{M}^+-\text{C}_3\text{H}_7]$, 199 $[\text{M}^+-\text{C}_4\text{H}_9]$, 185 $[\text{M}^+-\text{C}_5\text{H}_{11}]$, 71 $[\text{M}^+-\text{C}_6\text{H}_{13}]$, 157 $[\text{M}^+-\text{C}_7\text{H}_{15}]$, 143 $[\text{M}^+-\text{C}_8\text{H}_{17}]$, 129 $[\text{M}^+-\text{C}_9\text{H}_{19}]$, 115 $[\text{M}^+-\text{C}_{10}\text{H}_{21}]$, 97 $[\text{M}^+-\text{C}_{10}\text{H}_{23}\text{O}]$, 83 $[\text{M}^+-\text{C}_{11}\text{H}_{25}\text{O}]$, 73 $[\text{M}^+-\text{C}_{13}\text{H}_{27}]$ (pico base), 57 $[\text{M}^+-\text{C}_{12}\text{H}_{23}\text{O}_2]$ y 43 $[\text{M}^+-\text{C}_{13}\text{H}_{25}\text{O}_2]$.

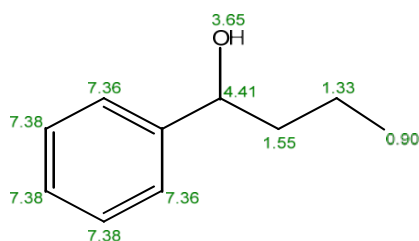
Un estudio realizado a tres algas rojas, de diferentes órdenes, determinó que las especies de distintos órdenes presentaban patrones similares de ácidos grasos, con cuatro ácidos dominantes: palmítico, oleico, araquidónico y eicosapentanoico (Lenis *et al.*, 2007). Estos resultados están en concordancia con los obtenidos en este estudio, debido a que entre los ácidos grasos identificados en *K. alvarezii*, perteneciente al orden Gigartinales, se identificaron por medio de CG-EM, la presencia de los ácidos palmítico, mirístico y esteárico, resultando los dos primeros los más abundantes. En contraste a la presencia de estos ácidos, recientemente, una investigación realizada por Pérez (2013) en *K. alvarezii* recolectada en Panamá reporta la extracción de ficocoloides como ácido algínico, agar y carragenano para fines comerciales.

La subfracción G2 (sólido blanco) fue analizada resonancia magnética nuclear de protón, a campo alto se observan cinco señales, la primera a δ_{H} 0,86 ppm, la cual integra para tres protones, visualizándose como un triplete, correspondiente a un metilo terminal, que probablemente se encuentra enlazado a un metileno, el segundo desplazamiento químico se encuentra en δ_{H} 1,24 ppm, la cual integra para dos protones, asignables a un metileno; la tercera señal aparece a δ_{H} 1,53 ppm, integrando para dos protones asignables a un metileno unido a un C-H (metínico), como cuarta señal se observó a δ_{H} 3,84 ppm un singlete correspondiente a un protón unido a un carbono oxigenado, a δ_{H} 4,42 ppm está presente la señal de un protón anomérico, correspondiente al carbono unido al grupo hidroxilo. La señal de los protones aromáticos se considera que esta superpuesta con la señal del solvente (cloroformo deuterado) a campo bajo de (δ_{H} 7,15- δ_{H} 7,30) ppm. En la Tabla 3 se detallan cada una de las señales del espectro de RMN- ^1H .

Tabla 3 Desplazamientos químicos (δ_H) de la subfracción G2 y sus respectivas señales

Asignación	Multiplicidad	δ_H (ppm)	Asignación
H ₁₁	Triplete (t)	0,86	-CH ₃
H ₁₀	Multiplete (m)	1,24	-CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ -
H ₉	Cuarteto (q)	1,53	CH-CH ₂ -CH ₂
H ₈	Singulete (s)	3,84	-OH
H ₇	Triplete (t)	4,42	CH-OH
H ₁ -H ₆	Singulete (s)	7,15 - 7,30	Ar-H

En la (Fig. 1) se muestran los diferentes desplazamientos químicos δ_H teóricos para una estructura similar, según el programa predictor del ChemBioDraw, los cuales fueron comparados con los datos experimentales del RMN-¹H de la subfracción G₂. Resultando varias señales con δ_H muy parecidas, reiterando la estructura propuesta para dicha subfracción.

**Figura 1** Posible estructura propuesta para G₂, indicando δ_H teóricos

El cromatograma de gases de la fracción A₂ presentó cuatro constituyentes en mayor proporción: el dibutilftalato (VI), el ácido hexadecanoico (V), el 1-(1-propoxietoxi)propano (II) y el colestano (VII), los cuales fueron observados a tiempos de retención de 19,10; 14,90; 9,34 y 22,92 min, respectivamente (Tabla 4). El espectro de masas del compuesto I mostró un ión molecular a m/z 136 [M⁺], el cual corresponde a la fórmula molecular C₈H₈O₂. Los picos correspondientes a los iones más abundantes se observaron a m/z 91 (pico base), 65 y 39.

Tabla 4 Compuestos identificados en la fracción A₂ mediante CG-EM.

Pico	Tr(min)	M+	Compuesto	Grupo Químico	Fórmula
I	7,74	136	Ácido 2-fenilacético	Ácido carboxílico	C ₈ H ₈ O ₂
II	9,34	146	1-(1-propoxietoxi)propano	Alcano	C ₈ H ₁₈ O ₂
III	10,19	220	dieno-1,4-diona	Cetona aromática	C ₁₄ H ₂₀ O ₂
IV	13,75	268	6,10,14-trimetil-2-pentadecanona	Cetona alifática	C ₁₈ H ₃₆ O
V	14,90	256	Ácido hexadecanoico	Ácido graso	C ₁₆ H ₃₂ O ₂
VI	19,10	278	Dibutilftalato	Éster aromático	C ₁₆ H ₂₂ O ₄
VII	22,92	372	Colestano	Esterol	C ₂₇ H ₄₈

El compuesto identificado con el número dos (II) fue uno de los que se encontraba en mayor proporción en la fracción A₂ y por consiguiente uno de los más abundantes en la mezcla, y tuvo relación con el 1-(1-propoxietoxi) propano, el cual se detectó con un tiempo de retención de 9,34 min y no evidenció el ión molecular correspondiente a m/z 146[M⁺], en el respectivo espectro de masas. A un tiempo de retención de 13,76 minutos, apareció la 6,10,14-trimetil-2-pentadecanona, encontrada en mayor proporción en la fracción A₂. El espectro de masas de este compuesto, desplegó un ión molecular a m/z 250 [M⁺], y los fragmentos correspondientes a los picos de los iones más abundantes a m/z 210, 165 y 43 (pico base).

Este metabolito, también conocido como hexahidrofarnesil acetona, ha sido reportado en diversas especies de plantas tales como: la fracción hexánica de las hojas de *Ludwigia octovalvis*, la cual presenta

actividad tóxica contra *Artemia salina*, antibacteriana contra *S. aureus* y citotóxica en huevos de erizo de mar *Lytechinus variegatus* (Noguera, 2007). También ha sido informado en la literatura, que existen otros compuestos producidos por las algas marinas como los ácidos grasos, que presentan actividad antiinflamatoria y efectos en el sistema inmune (Ondarza y Rincones, 2008). Específicamente, el ácido hexadecanoico (C16) junto a otra variedad de ácidos grasos, ha sido reportado en una variedad de especies de algas y celenterados (Ordaz *et al*, 2009).

A un tiempo de retención de 22,93 minutos, apareció el esteroil colestanol, uno de los compuestos mayoritarios de la fracción A₂. Pudiendo observarse el pico característico del ión molecular en el correspondiente espectro de masas. Los otros fragmentos significativos se observaron a m/z 357 [M-CH₃]⁺, 315 [M-C₄H₉]⁺, 217 [M-C₁₁H₂₃]⁺, 149 [M-C₁₆H₃₁]⁺, 109 [M-C₁₉H₃₅]⁺ y 43 [M-C₂₄H₄₁]⁺, los mismos indicaron la presencia de un sistema esteroidal, grupo químico detectado en el análisis químico preliminar del EAE (prueba positiva para esteroides).

La fracción EM₇, analizada a través de resonancia magnética de protón (RMN- ¹H), del extracto metanólico, mostró la presencia a campo alto de un triplete con un desplazamiento químico de δ_H 0,89 ppm, correspondiente a un (-CH₃) terminal, unido a un metileno (H₁₇) que integra para tres hidrógenos. A campo menos alto, apareció un multiplete (H₃), asignado a protones de metilenos más desapantallados con un desplazamiento de δ_H 1,59 ppm. Además, en la misma zona alifática, se evidenció a δ_H 1,23-1,31 ppm, un multiplete (H₉-H₄) bastante intenso; en el mismo rango de estos metilenos, se considera que se encuentra superpuesta la señal del H₁₂, que sale a 1,29 ppm, debido a que se encuentra menos apantallado por la cercanía al oxígeno (Tabla 5).

Tabla 5 Desplazamientos químicos (δ_H) de la subfracción EM₇ y sus respectivas señales.

Posición	Multiplicidad	δ _H (ppm)	Asignación
H ₁₈	Triplete (t)	0,86	-CH ₃
H ₄ -H ₁₇	Multiplete (m)	1,23	-CH ₂ -CH ₂ -CH ₃ -
H ₃	Multiplete (m)	1,59	CH ₂ -CH ₂ -COO.
H ₂	Triplete (t)	2,33	CH ₂ -COO.

Mediante el experimento DEPT- 135°, se pudieron establecer los diferentes tipos de carbonos presentes en la estructura, resultando la existencia de un carbono metílico (C₁₈) y un átomo de carbono cuaternario correspondiente al del grupo carboxilo (C₁). Según el análisis combinado de los espectros RMN-¹H, RMN-¹³C y DEPT 135°, concretamente, debido a los desplazamientos químicos y las multiplicidades en el caso de RMN ¹H, se pudo determinar que el compuesto que conforma la fracción EM₇, es el ácido octadecanoico (Figura 2), el cual ya fue identificado por CG-EM en la fracción D, perteneciente al extracto soluble en cloroformo, junto con otros metabolitos; sin embargo, se logró aislar en el extracto metanólico y caracterizar estructuralmente. Este hecho evidencia nuevamente la abundancia de los ácidos grasos en las algas rojas. La presencia del ácido hexadecanoico, octadecanoico, entre otros, ha sido reportada en muestras de algas y otras especies marinas, a los cuales se les atribuye actividad biológica, y que su biosíntesis en el organismo, pudiera no estar dirigida hacia funciones de defensa (Ordaz *et al*, 2009; Pastrana *et al*, 2016).

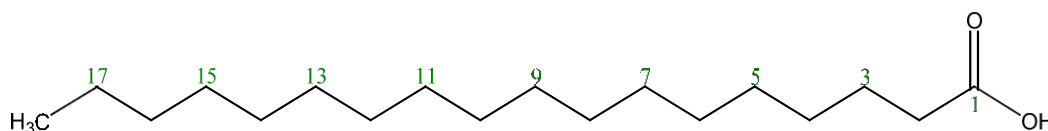


Figura 2 Estructura del compuesto (ácido octadecanoico) de la fracción EM₇.

CONCLUSIONES

Los extractos de metanol, acetato de etilo y cloroformo de *K. alvarezzi* y algunas de sus fracciones cromatograficas mostraron actividad biológica significativa; en tal sentido se podría decir que los distintos metabolitos identificados posiblemente sean los responsables de la bioactividad *in vitro* observada en los nauplios de *A. salina*. Además, constituyen una fuente promisoría de compuestos bioactivos con posible actividad antitumoral.

Todos los componentes químicos identificados en los extractos del alga, constituyen el primer reporte de los mismos para *K. alvarezzi*, tanto en Venezuela como en otras latitudes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad Simón Bolívar e Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas por el apoyo científico en la realización de los análisis biológicos y químicos; así como al Departamento de Química de la Universidad de Oriente por el apoyo en infraestructura, materiales y reactivos necesarios para la investigación.

REFERENCIAS

- Amaro M., Monasterios M., Avendaño M., Charris J. (2009). Preliminary evaluation of the toxicity of some synthetic furan derivatives in two cell lines and *Artemia salina*. *J Appl Toxicol.*, 29(1):36-41.
- Barros M., Pinto E., Sigaud-Kutner T., Cardozo K., Colepicolo, P. (2005). Rhythmicity and oxidative/nitrosative stress in algae. *Biological Rhythm Research*, 36:67-82.
- Brito L., Crescente, O. (2009). Actividad antimicrobiana de macroalgas marinas del oriente de Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 48(1):29- 33.
- Estévez J., Ciancia M., Cerezo A. (2000). The system of low molecular weight carrageenan and agaroids from the room temperature extracted fraction of *Kappaphycus alvarezii*. *Carbohydrate Research*, 325: 287-299.
- Faulkner D. (2002). Marine natural products: metabolites of marine algae and herbivorous marine molluscs. *Natural Products Reports*, 19:1-48.
- Freile Y. (2001). Algas en la "Botica". *Avance y Perspectiva*, 20:283-293.
- Kanatt S., Lahare P., Chawla S., Sharma A. (2015). *Kappaphycus alvarezii*: its antioxidant potential and use in bioactive packaging films. *J Microbiol Biotech Food Sci.*, 5(1):1-6.
- Lenis L., Benítez R., Peña, E., Trujillo D. (2007). Extracción, separación y elucidación estructural de dos metabolitos secundarios del alga marina *Bostrychia calliptera*. *Scientia Et Technica*, 13:97-102.
- Mayer A., Hamann M. (2004). Marine pharmacology in 2000: marine compounds with antibacterial, anticoagulant, antifungal, anti-inflammatory, antimalarial, antiplatelet, antituberculosis, and antiviral activities; affecting the cardiovascular, immune, and nervous system and other miscellaneous mechanisms of action. *Journal of Marine Biotechnology*, 6:37-52.
- Mayer A., HamannM. (2005). Marine pharmacology in 2001-2002: marine compounds with anthelmintic, antibacterial, anticoagulant, antidiabetic, antifungal, anti-inflammatory, antimalarial, antiplatelet, antiprotozoal, antituberculosis, and antiviral activities; affecting the cardiovascular, immune and nervous systems and other miscellaneous mechanisms of action. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C: Toxicology and Pharmacology*, 140:265-286.

- Meyer B., Ferrigni N., Putnam J., Jacobsen L., Nichols D., McLaughlin J. (1982). Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents. *Planta Médica*, 45(1):31-34.
- McLaughlin J., Lingling L., Anderson J. (1998). The use of biological assays to evaluate botanicals. *Drug Information J.*, 32:513-524.
- Noguera T. (2007). Aislamiento, elucidación estructural y posible bioactividad de algunos de los metabolitos secundarios de la planta *Ludwigia octovalvis* (Onagraceae), Trabajo de pregrado, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela (junio 2007).
- Ondarza M., Rincones R. (2008). El cultivo de algas marinas: alternativa industrial en acuicultura sustentable a mediano y largo plazo. *CienciaUAT*, 3(2): 68-73.
- Ordaz G., D'Armas H., Hernández J., Camacho A. (2009). Identificación mediante CG/EM de algunos constituyentes con actividad biológica del extracto apolar del celenterado *Eunicea* sp. *CIENCIA*, 17(3): 245-254.
- Parra, L., Silva, Y., Iglesias, B., y Guerra, S. (2001). Comparative study of the assay of *Artemia salina* L. and the estimate of the medium lethal dose (LD₅₀ value) in mice, to determine oral acute toxicity of plant extracts. *Phytomedicine*, 8(5):395-400.
- Pastrana O., Santafé G., Torres O. (2016). Perfil de Ácidos Grasos y Evaluación de las Actividades Antioxidante y Antifúngica del Holotureo *Isostichopus badionotus*. *Inf. Tecnol*, 27(3):3-10.
- Pereira L., Amado A., Critchley A., Velde F., Ribeiro P. (2009). Identification of selected seaweed polysaccharides (phycocolloids) by vibrational spectroscopy (FTIR- ATR and FT-Raman). *Food Hydrocolloids*, 23:1903-1909.
- Pérez C. (2013). Caracterización biológica y química de *Kappaphycus alvarezii* de Panamá, Tesis Doctoral, Departamento de Biología, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, España (febrero 2013).
- Pino O., Lazo J. (2010). Ensayo de *Artemia*: útil herramienta de trabajo para ecotoxicólogos y químicos de productos naturales. *Revista de Protección Vegetal*, 22(1): 35-36.
- Prabha V., Prakash D., Sudha P. (2013). Analysis of bioactive compounds and antimicrobial activity of marine algae *Kappaphycus alvarezii* using three solvent extracts. *IJPSR*, 4 (1):306-310.
- Puglisi M., Tan L., Jensen P., Fenical W. (2004). Capisterones A and B from the tropical green alga *Penicillus capitatus*: unexpected anti-fungal defenses targeting the marine pathogen *Lindra thallasiae*. *Tetrahedron*, 60:7035-7039.
- Ranganayaki P., Susmitha S., Vijayaraghavan R. (2014). Study on metabolic compounds of *Kappaphycus alvarezii* and its *in-vitro* analysis of anti-inflammatory activity. *Int. J. Curr. Res. Aca. Res.*, 2 (10):157-166.
- Singh S., Kate B., Banerjee U. (2005). Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: an overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25:73-95.
- Stephan C.E. (1977). Methods for calculating an LC₅₀. In: Mayer FL, Hamelink J. (eds). *Aquatic Toxicology and Hazard Evaluation: ASTM STP 634*. American Society for Testing and Material, Philadelphia.

Suresh K., Ganesan K., Subba, R. (2007). Antioxidant potential of solvent extracts of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty – an edible seaweed. *Food Chemistry*, 107:289-295.

Valdés O., Díaz N., Cabranes Y., Acevedo M., Areces A., Graña L., Díaz C. (2003). Macroalgas de la plataforma insular cubana como fuente de extractos bioactivos. *Avicennia*, 16:36-45.

Recibido: 10-11-2019

Aprobado: 02-03-2020

Versión final: 10-03-2020



INTERACCIONES ALGA-CORAL EN ARRECIFES CORALINOS INVADIDOS POR *Kappaphycus alvarezii* (RHODOPHYTA) EN ISLA CUBAGUA, ESTADO NUEVA ESPARTA, VENEZUELA

JORGE E. BARRIOS-MONTILLA*¹, JUAN PEDRO RUIZ-ALLAIS² & MARIA ELENA AMARO¹

¹*Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, estado Sucre, Venezuela*

**Autor de correspondencia: jebarster@gmail.com*

²*Fundación La Tortuga, Puerto La Cruz, Venezuela*

¹*Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, estado Sucre, Venezuela*

meamaro_2000@yahoo.com

RESUMEN: El alga roja exótica *Kappaphycus alvarezii* introducida con fines comerciales se dispersó lejos de su área de cultivo, invadiendo arrecifes del hidrocoral *Millepora alcicornis* en isla Cubagua, Venezuela. Se comparó la biodiversidad y cobertura coralina en dos arrecifes (invadido y no invadido) usando índices ecológicos y pruebas estadísticas. Se obtuvieron fotocuadratas en 6 transectos para cada arrecife en marzo y abril de 2009, las fotografías permitieron estimar la cobertura de los organismos usando el programa Image-J. Se identificaron 25 animales bentónicos, 81 macroalgas y el pasto marino *Thalassia testudinum*. El alga *K. alvarezii* creció sobre *M. alcicornis* formando talos compactos adheridos al coral, dañándolo por recubrimiento y sombreado. Se observaron marcas de herbivoría en el alga invasora. Las pruebas estadísticas mostraron diferencias significativas entre los arrecifes estudiados. El alga nativa *Caulerpa chemnitzia*, presente en ambas estaciones, aumento su cobertura en el arrecife afectado por el alga exótica, determinándose una relación inversa entre el recubrimiento de estas algas y la cobertura coralina. Se determinó una relación sinérgica entre ambas especies de macroalgas en detrimento del arrecife coralino. La invasión de los corales por *K. alvarezii* puede causar una fase de cambio que modifique la estructura del arrecife o provoque su desaparición.

Palabras claves: Inventario, cobertura coralina, *Millepora alcicornis*, alga invasora, sinergia.

ABSTRACT: The non-native red alga *Kappaphycus alvarezii* introduced for mariculture has spread and impacts the hydrocoral reef *Millepora alcicornis* in Cubagua island, Venezuela. Biodiversity and coral cover were compared in two reefs (invaded and clean) using statistical and ecological tests. Photoquadrats were obtained in 6 transects in each reef in march and april 2009 and estimated the biota cover using the Image-J program. Were identified 25 benthic animals, 81 macroalgae and the seagrass *Thalassia testudinum*. The alga *K. alvarezii* grew on *M. alcicornis* forming compact thalli attached to the coral, destroyed them by shadowing and smothering effects. Grazing by herbivores is evident in invasive algae. Statistical tests showed significant differences between the reefs studied. The native algae *Caulerpa chemnitzia*, present at both sites, increased its covering on the reef affected by the exotic algae, showing an inverse relationship between the cover of these algae and the coral cover. A synergistic relationship was determined between both species of macroalgae to the detriment of the coral reef. The invasion of corals by *K. alvarezii* can lead to a phase of change that modifies the structure of the reef or causes its disappearance.

Key words: Inventory, coral cover, *Millepora alcicornis*, invader seaweed, synergy.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de los organismos marinos y la consecuente sobreexplotación de los recursos disponibles han propiciado el desarrollo de paquetes tecnológicos que favorecen el cultivo de unas pocas especies. En el caso de las algas marinas se destaca el éxito de *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta), especie productora de carragenina originaria de las Filipinas que por su fácil propagación, bajos costos de cultivo y un mercado relativamente seguro, ha sido introducida en muchas costas tropicales y subtropicales alrededor del mundo (ASK *et al.* 2003; PIRANI *et al.* 2008 EGGERTSEN & HALLING 2021).

En 1996 se inició en la península de Araya y la isla de Coche (Venezuela) el cultivo de *K. alvarezii* mediante el método de cuerdas suspendidas en aguas abiertas (RINCONES & RUBIO 1999), diseminándose desde las zonas iniciales de cultivo y distribuyéndose en una amplia zona de los estados Sucre y Nueva Esparta (BARRIOS 2005), formando frecuentes arribazones en algunas zonas de la isla de Margarita. Una de las principales causas de introducción de organismos en lugares alejados de sus áreas naturales de distribución son los cultivos de especies seleccionadas por sus cualidades comerciales, las cuales pueden pasar accidental o intencionalmente desde sus lugares de cultivo hacia el ambiente circundante (ALIDOOST-SALIMI *et al.* 2021).

En relación a las algas cultivadas existen numerosos ejemplos de especies introducidas invasoras, así tenemos la afectación de corales por las algas *K. alvarezii*, *K. striatum* y *Gracilaria salicornia* en la isla de O'ahu, Hawaii, USA (RODGERS & COX 1999; COKLIN & SMITH 2005). En Venezuela, BARRIOS *et al.* (2007) observaron el blanqueamiento de corales por el alga introducida *K. alvarezii* en isla Cubagua, CHANDRASEKARAN *et al.* (2008) informaron sobre la dispersión y establecimiento de *K. alvarezii* proveniente de cultivos sobre coral muerto y vivo en la isla de Kurusadai (India) y SELLERS *et al.* (2015) encontraron en el 2013 a esta rodofita en arrecifes coralinos, praderas de fanerógamas marinas y raíces de mangle cerca de cultivos abandonados en Bocas del Toro (Panamá).

Las comunidades coralinas están compuestas por una asociación de especies de diferentes grupos biológicos y se consideran como las más complejas y de mayor productividad del ambiente marino (SANT *et al.* 2002). En algunas áreas costeras del nor-oriente de Venezuela es dominante en aguas someras el hidrocoral *Millepora alcicornis* (RAMÍREZ-VILLARROEL 2001); es una especie pionera de rápido crecimiento resistente al oleaje y la sedimentación (LEWIS 1996). Los millepóridos constituyen un hábitat importante para numerosas especies de invertebrados y peces (DE LA CRUZ-FRANCISCO *et al.* 2016).

La distribución y abundancia del bentos de un arrecife coralino se puede estudiar al comparar la cobertura de los diferentes organismos sésiles que lo integran (DÍAZ-PULIDO *et al.* 2004), resaltando por su importancia en los arrecifes caribeños las macroalgas (LITTLER & LITTLER 2000) y octocorales (BAYER 1961; SÁNCHEZ *et al.* 1997), entre otros.

El propósito del presente estudio fue determinar las especies del bentos en arrecifes de *M. alcicornis* afectados o no por el alga exótica *K. alvarezii* en la isla de Cubagua (Venezuela), mediante el reconocimiento de su biodiversidad, la estimación de algunos índices comunitarios y el empleo de métodos multivariados para conocer los efectos del alga en el coral e identificar variaciones recurrentes entre áreas del complejo arrecifal a escala local.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: La isla de Cubagua, con 23 km² (10°47'-10°51'N y 64°8'-64°14'O), tiene una longitud máxima de 7 km en el eje este-oeste y una anchura de

5 km; se encuentra a 8 km al sur de la isla de Margarita y 15 Km al oeste de isla de Coche, con las que integra el estado Nueva Esparta (CERVIGÓN 1997; RAMÍREZ-VILLARROEL 2008). Se establecieron dos estaciones a 800 metros de la costa en el extremo este de la isla que abarcaron un área de 252 m² de parche coralino cada una, la estación 1 (10°48'57"N; 64°08'08"O) estaba colonizada por *K. alvarezii*, mientras que la estación 2 (10°49'03"N; 64°08'08"O) cercana a la primera estación, no se encontraba invadida por *Kappaphycus* (Fig. 1).

La isla de Cubagua no presenta arrecifes estructurados, sólo existen parches coralinos con abundantes octocorales a poca profundidad. La mayor abundancia y diversidad de especies de la fauna coralina se encuentra hacia las costas norte y este, donde predominan fondos rocosos (RAMÍREZ-VILLARROEL 2001).

Metodología de campo: Para este trabajo se utilizó equipo autónomo SCUBA y buceo libre. Las zonas a ser estudiadas se visitaron en marzo y abril de 2009, en cada estación se colocaron en los parches coralinos 6 transectos de 21 m perpendiculares a la costa, separados uno de otro a intervalos de 2 m (Fig. 2).

Se tomaron fotografías con una cámara submarina digital Sea & Sea, DX 800, de 8.2 mega píxeles de resolución, según los procedimientos de COYER & WITMAN (1990), que incluyó el uso de un cuadrápodo adosado a una fotocadrata, correspondiendo cada imagen tomada a un área de 0,4 m² (Fig. 2).

Se realizó un muestreo sistemático lineal, ubicando las unidades muestrales una tras otra para la obtención del material fotográfico. Para medir el porcentaje de cobertura de los organismos se analizaron las fotos utilizando el software de procesamiento de imágenes Image-J (CONKLIN & SMITH 2005).

La identificación de los corales se hizo parcialmente *in situ* durante las inmersiones, considerando los atributos morfológicos que distinguen las especies, complementando el estudio con registros fotográficos y algunas muestras que fueron conservadas por refrigeración, utilizando como referencias los trabajos de BAYER (1961), GONZÁLEZ (1970), RAMÍREZ-VILLARROEL (2001) y HUMANN & DELOACH (2006). Los equinodermos se identificaron con ayuda de los trabajos de HENDLER *et al.* (1995) y GÓMEZ & HERNÁNDEZ-ÁVILA (2011).

Las macroalgas colectadas en la zona de estudio se preservaron en formalina al 4% en agua de mar y

se estudiaron tanto ejemplares completos como cortes anatómicos, los cuales se observaron con ayuda de equipo óptico. Para la identificación se utilizaron las claves de TAYLOR (1960), DAWES & MATHIESON (2008) y LITTLER & LITTLER (2000), y las bases de datos de GUIRY & GUIRY (2021) y WEB FICOFLORES VENEZUELA (2021).

Índices comunitarios: Una vez estimada la cobertura y el número de especies por muestra de los diferentes grupos taxonómicos se utilizó la información obtenida para la determinación de la riqueza específica según MARGALEF (1995), diversidad de SHANON-WEAVER (1949) y equidad de LLOYD & GHELARDI (1964).

Análisis estadísticos: Debido a que los datos no cumplían con los supuestos de la ANOVA, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis para determinar si habían diferencias significativas en la cobertura de las especies dominantes entre estaciones y transectos; se usó además la correlación de Pearson para comparar la abundancia de las algas dominantes y corales en ambas estaciones, utilizando el programa STATGRAPHIC plus versión 4.1.

Adicionalmente se aplicó un escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) para visualizar las diferencias entre los diferentes grupos de organismos de acuerdo con la ubicación de las estaciones. Los datos de cobertura para los análisis fueron transformados

previamente a raíz cuarta para crear una matriz de disimilitud de Bray-Curtis, empleándose el programa Primer 6 & Permanova (CLARKE & GORLEY 2006).

RESULTADOS

En los dos arrecifes se encontraron abundantes colonias del octocoral *Plexaura flexuosa* y de los corales blandos *Zoanthus pulchelus*, *Palythoa grandis* y *P. caribaeorum*, además de los corales pétreos *Diploria strigosa*, *D. labyrinthiformis*, *Siderastrea siderea* y *Colpopyllia natans*, fue común la presencia de la anémona *Stichodactyla helianthus* formando agregaciones compactas de numerosos individuos sobre el coral y arena, se observaron también los erizos *Trineustes ventricosus* y *Diadema antillarum* (Fig. 3), además se observaron varias especies de esponjas, ascidias y moluscos (no identificados en este trabajo). El listado de invertebrados bentónicos registrados totalizó 25 especies: 3 corales blandos, 1 anémona, 8 corales escleractíneos, 7 corales octocorales, 1 coral milepórido y 5 equinodermos (Tabla 1).

Entre las colonias de *M. alcornis* se observaron franjas con arena, cochas de moluscos y coral fragmentados, además de parches dispersos de *T. testudinum*. Se identificaron 81 macroalgas: 26 Chlorophyta, 12 Heterokontophyta y 43 Rhodophyta (Tabla 1).



Fig. 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en isla Cubagua, estado Nueva Esparta, Venezuela.

Se observó solamente la variante verde de *K. alvarezii* adherida al substrato coralino, evidenciándose la muerte de las colonias de *M. alcornis* afectadas. El alga invasora mostró pérdida de porciones apicales y cicatrices causadas por el consumo de los herbívoros, la morfología típica arborescente del alga se mantuvo entre las ramificaciones menos expuestas de *Millepora*.

Los dos parches coralinos estudiados presentaron una estructura comunitaria similar en donde el hidrocoral *M. alcornis* fue la especie dominante. El resumen estadístico de los valores de cobertura de las diferentes especies por estación se presenta en la Tabla 2. La diferencia principal entre ambas estaciones estuvo determinada por la invasión de *K. alvarezii* y el sobre crecimiento de *Caulerpa chemnitzia* en la estación 1, en donde llegaron a ser más abundantes que

M. alcornis en algunas áreas. Por el contrario, en la estación 2, que estuvo libre de *K. alvarezii*, la cobertura de *C. chemnitzia* fue mucho menor. Es importante destacar que *C. chemnitzia* fue el alga más abundante en ambos arrecifes.

En cuanto a los valores de cobertura de *K. alvarezii* en la estación 1, esta presentó un valor promedio de 10,5 % con un rango entre 7,34 y 14,91 % (Fig. 4), sin diferencias significativas entre los transectos, lo que indica una distribución homogénea del alga en el arrecife invadido.

En la figura 5 se comparan los valores medios de cobertura de *M. alcornis*, *K. alvarezii* y *C. chemnitzia*, esta última presentó un mayor porcentaje de cobertura en la estación 1 con respecto a la estación 2, libre de *K. alvarezii*.

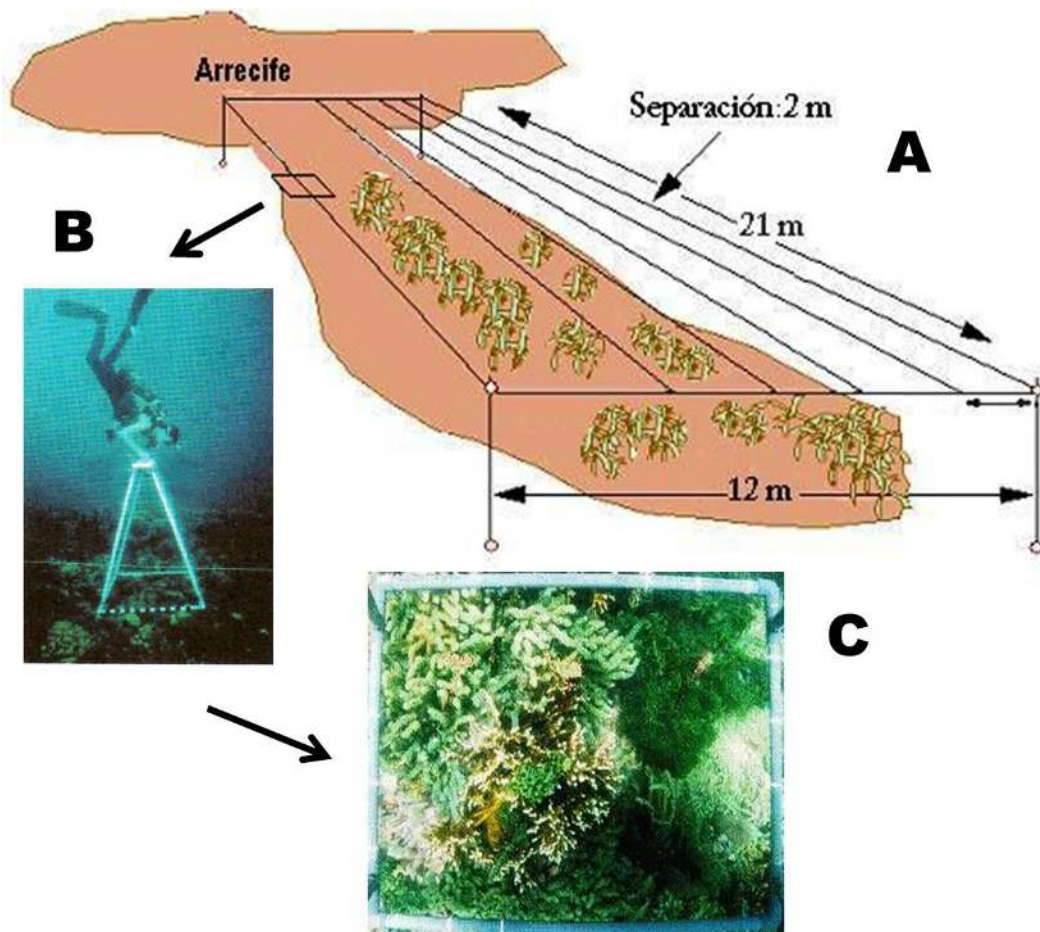


Fig. 2. Delimitación del área de muestreo y obtención de fotocuadratas. A: Disposición de transectos en el arrecife. B: Muestreo fotográfico con ayuda de un cuadrápodo. C: Fotocuadrata mostrando las macroalgas *K. alvarezii* y *C. chemnitzia* sobre *M. alcornis*.

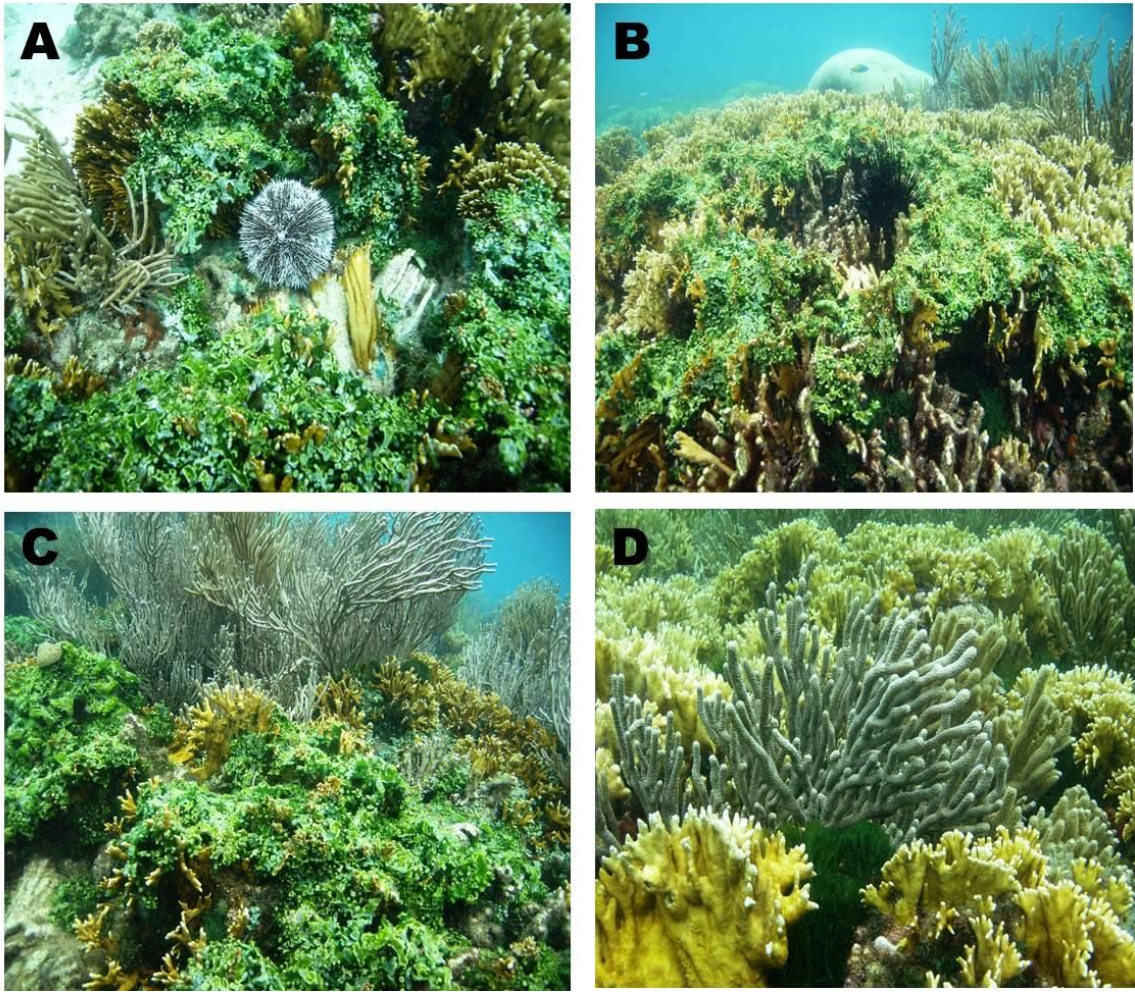


Fig. 3. Estación 1: A) El erizo *T. ventricosus* consumiendo al alga *K. alvarezii*. B) En el centro de la foto, único ejemplar de *D. antillarum* observado durante el estudio. C: Vista general del arrecife de *M. alcicornis* con una importante cobertura del alga invasora *K. alvarezii*. Estación 2: D) Arrecife de *M. alcicornis* libre del alga invasora y colonias del octocoral *P. flexuosa*, al centro el alga verde *B. pennata* var. *leprieurii*.

En la estación 1 se encontró una correlación negativa ($r = -0,70$) entre el porcentaje de cobertura de *K. alvarezii* y el porcentaje de cobertura de los corales (Fig. 6). También se obtuvo una relación inversa entre la abundancia de *C. chemnitzia* y el porcentaje de cobertura de los corales en el parche invadido y una correlación ligeramente positiva en la zona libre de *K. alvarezii* (Fig. 7).

La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas ($p = 0,01$) de los valores de cobertura coralina entre la estaciones 1 y 2, al igual que en el caso de *C. chemnitzia*, que mostró diferencias significativas entre ambas estaciones (Fig. 8).

El MDS evidenció diferencias significativas entre ambas estaciones, formándose dos grupos correspondientes a las estaciones 1 y 2 (Fig. 9).

Los índices de diversidad y equidad para los corales fueron muy bajos debido a la dominancia del *M. alcicornis* en ambas localidades, en la estación 1 la riqueza varió de 5 a 2 especies, con una diversidad máxima de 0,84 bits/ind; la mayor equidad fue de 0,52 (H' media: 0,47 bits/ind, J media: 0,31). En la estación 2 la mayoría de los transectos presentaron 4 especies de coral, una diversidad media de 0,2 bits/ind y una equidad media de 0,2; la máxima diversidad fue de 0,33 bits/ind (Fig. 10).

Al comparar los valores de diversidad coralina se determinó que no hubo diferencias significativas entre estaciones (KW = 0,78; $p > 0,05$), ni entre transectos (KW = 0,26; $p > 0,05$). Algo similar se determinó con los valores de equidad: estaciones (KW = 0,17; $p > 0,05$) y transectos (KW = 0,64; $p > 0,05$).

Cuando relacionamos la diversidad por transecto y los porcentajes de cobertura de *K. alvarezii* en la

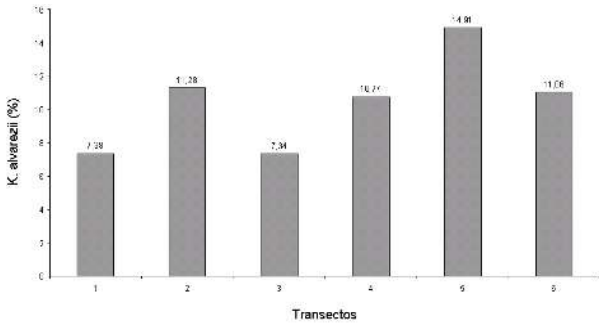


Fig. 4. Porcentaje de cobertura de *K. alvarezii* por transecto en la estación 1.

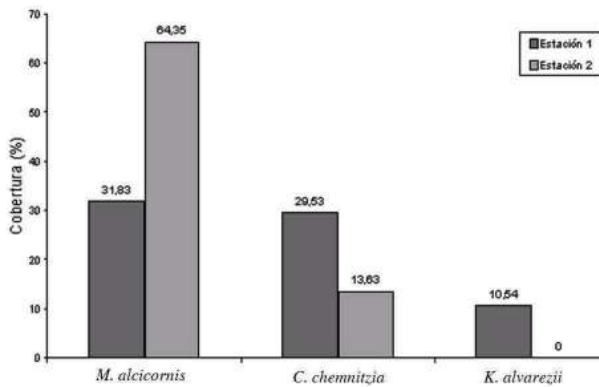


Fig. 5. Valores medios de porcentaje de cobertura de las especies más abundantes en las estaciones de muestreo.

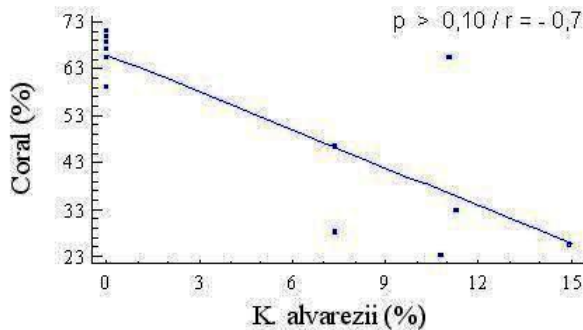


Fig. 6. Correlación entre los valores de cobertura de *K. alvarezii* y de los corales en la estación 1.

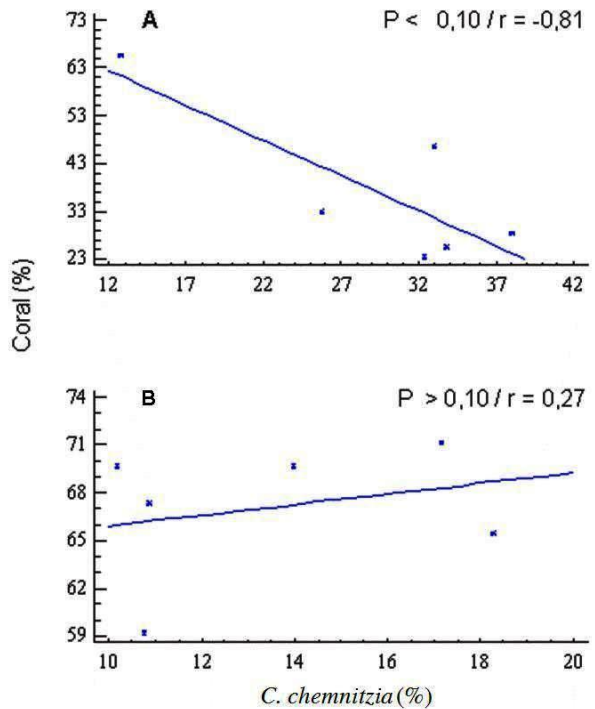


Fig. 7. Correlación entre los valores de cobertura de *C. chemnitzia* y de los corales en las estaciones 1 (A) y 2 (B).

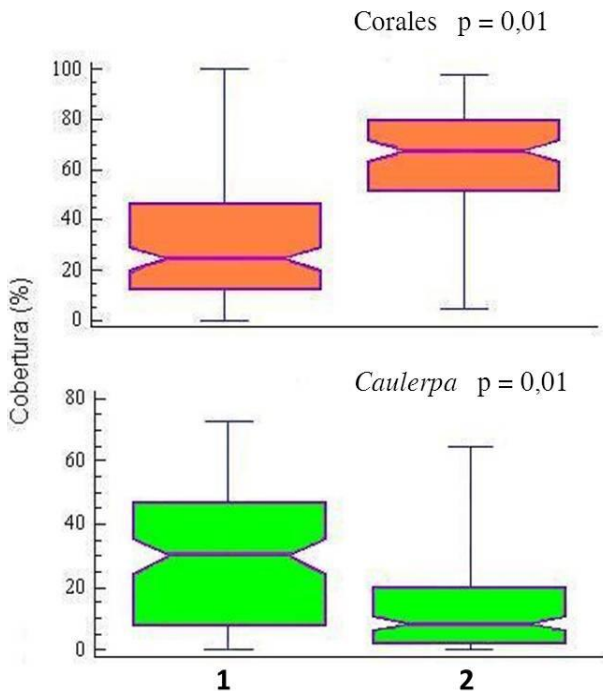


Fig. 8. Diagrama de caja de comparación entre las coberturas de los corales y *C. chemnitzia* de las estaciones 1 y 2 (prueba Kruskal-Wallis, P: valores).

estación 1, observamos una correlación negativa fuerte ($r = -0,70$) entre ambas variables (Fig. 11).

DISCUSIÓN

El arrecife coralino evaluado en isla Cubagua presentó una composición biológica típica para las costas poco profundas del noroeste de Venezuela, las especies de coral identificadas son comunes en la isla (RAMÍREZ-VILLARROEL 2001). Por su parte, VELÁZQUEZ-BOADAS & RODRÍGUEZ (2012) inventariaron la mayoría

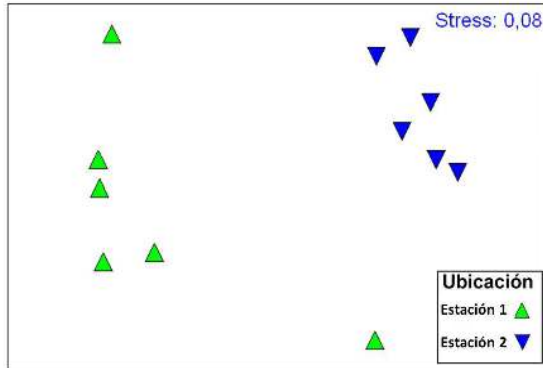


Fig. 9. Ordenación MDS de la comunidad arrecifal entre las estaciones 1 (invadida) y 2 (no invadida).

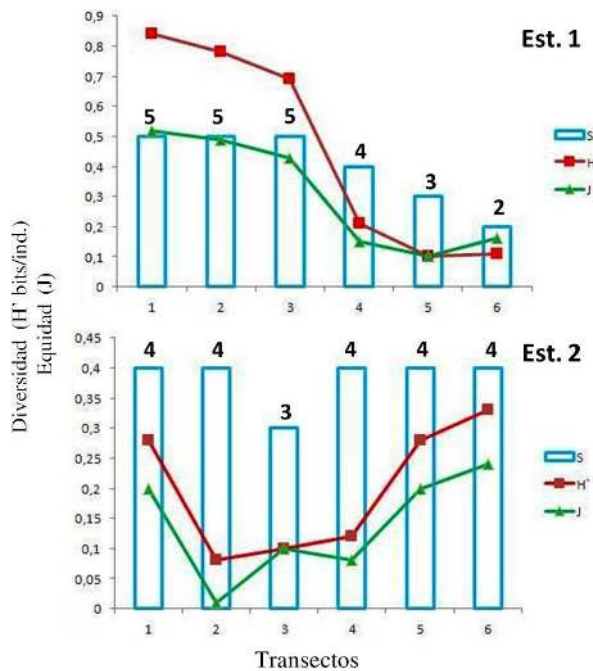


Fig. 10. Índices ecológicos: riqueza específica (S, valores resaltados sobre cada barra), equidad (J) y diversidad (H' : bits/ind), de los corales para cada transecto de las estaciones 1 y 2 en la costa este de isla Cubagua.

de las macroalgas identificadas en el presente trabajo, excepto *C. membranacea*, *B. hypnoides*, *H. opuntia*, *E. rallsiae*, *P. boergesenii*, *J. capillacea*, *P. subtilissima* y *C. variabile*, que son nuevos registros para Cubagua.

Los arrecifes coralinos dominados por hidrocorales hermatípicos son frecuentes en zonas con fuertes estresores ambientales, de estos el género *Millepora* es el más importante en el mar Caribe (CALDER & CAIRNS 2009), destacándose *M. alcornis* por formar complejas estructuras en las crestas arrecifales que soportan el impacto del oleaje (LEWIS 2006). Esta especie se encuentra muy bien distribuida en las islas y litorales costeros de Venezuela (RAMÍREZ-VILLARROEL 2001), es dominante en el Parque Nacional Mochima y golfo de Cariaco (SANT *et al.* 2002), configurando extensas formaciones en la punta sureste de isla Cubagua (CERVIGÓN 1989).

El arrecife estudiado se puede asignar como perteneciente al tipo *Millepora-Palythoa*-algas coralináceas costosas, típico de zonas continentales (DÍAZ-PULIDO *et al.* 2004), ocupando una zona transicional ya que las colonias de *Millepora* están entremezcladas con porciones arenosas y parches de *Thalassia*.

La diversidad de los corales en Cubagua es baja motivado a la influencia de la surgencia costera que mantiene baja la temperatura del agua durante gran parte del año (CERVIGÓN 1997), a lo cual podemos agregar factores antropogénicos como la pesca excesiva y el incremento de actividades recreacionales que ejercen una fuerte presión sobre estos arrecifes (RAMÍREZ-VILLARROEL 2001; RANGEL & TAGLIAFICO 2016).

Las mayores desviaciones estándar de los valores de cobertura de los diferentes organismos en la estación 1

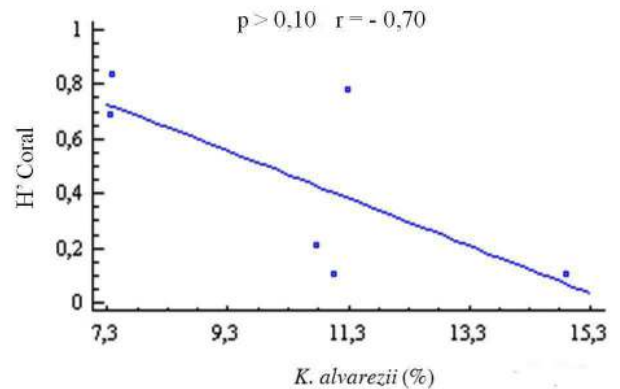


Fig. 11. Correlación entre los valores de diversidad (H') de los corales y el porcentaje de cobertura de *K. alvarezii* en la estación 1.

reflejan una mayor heterogeneidad en el sustrato por la presencia de zonas recubiertas por algas, áreas muertas y la presencia de especies oportunistas como *Z. pulchelus*, además la correlación negativa entre la cobertura de *K. alvarezii* y los corales es un indicador del efecto negativo que tiene la invasión del alga sobre el arrecife, por el contrario, en la estación 2 predomina la cobertura de colonias vivas de *M. alcicornis*. SMITH (2003) encontró correlaciones negativas entre el recubrimiento de macroalgas y la abundancia de corales.

En muchas áreas costeras del Caribe se ha observado una disminución en la cobertura de coral vivo, lo cual se ha relacionado con procesos de sedimentación (CORTÉS & LEÓN 2002). En nuestro trabajo se descarta este proceso como causa de la disminución de cobertura coralina ya que la isla es sumamente árida y no existen cursos de agua. Las condiciones fisicoquímicas y profundidad son idénticas para ambas estaciones, por lo que es improbable que las diferencias encontradas se deban a estos factores.

La presencia masiva de *K. alvarezii* incide en la pérdida de cobertura de *M. alcicornis* al provocar su muerte y acelerar la disgregación del arrecife al fragmentarse las estructuras coralinas dañadas. CHANDRASEKARAN *et al.* (2008) señalaron la pérdida de la integridad y posterior debilitamiento del esqueleto de *Acropora* spp. recubierto por *K. alvarezii* en la India. Las pocas especies de corales escleractineos encontrados en este estudio resultaron menos afectadas por *Kappaphycus*, como el caso de *D. strigosa*, que sólo presentó daños en las bases de las colonias, dificultando la forma redondeada de estos corales la adherencia del alga. LIRMAN (2001) señala que las formas masivas de coral mantienen la cobertura de tejido vivo sobre toda la superficie de la colonia y la competencia con las algas se concentra al perímetro de esta, donde existen áreas muertas disponibles para la colonización. En el caso de las gorgonias como *P. flexosa*, su morfología limita el contacto con el alga al pie de la colonia, en el área próxima al sustrato; las formas ramificadas y erguidas de los gorgonáceos favorecen su presencia en lugares donde las especies de corales pétreos están más restringidas (ALCOLADO 1990).

Nuestros resultados coinciden con los obtenidos por algunos investigadores en estudios realizados en Hawái con *K. alvarezii*, WOO *et al.* (1999) demostraron mediante series fotográficas de tiempo, que el alga crecía

y formaba densos mantos sobre el coral vivo, reportando porcentajes de cobertura media del 40%, por su parte SMITH *et al.* (2002) encontraron coberturas de un 80% de *Kappaphycus* sobre arrecifes coralinos. En la India se registró la invasión y desarrollo exitoso de *K. alvarezii* sobre colonias vivas del coral *Acropora* spp. matándolas por asfixia y sombreado (CHANDRASEKARAN *et al.* 2008).

El recubrimiento de *M. alcicornis* por *K. alvarezii* en Cubagua propició el crecimiento masivo de *C. chemnitzia* en el área invadida, aumentando el área de blanqueamiento coralino. En la estación 1 el porcentaje de cobertura promedio de *C. chemnitzia* fue mayor que en el parche coralino libre de *K. alvarezii*, la suma de la cobertura de ambas especies en la estación 1 mostró que el 40% del coral se hallaba cubierto por las dos macroalgas. En la estación 2 el alga *C. chemnitzia* se observó principalmente hacia las porciones basales de *Millepora*. En el mar Adriático ha sido reportado el crecimiento de *C. racemosa* sobre bancos de coral madreporario *Cladocora caespitosa*, causando la retracción de pólipos y blanqueamiento de las colonias (ZULJEVIC & NIKOLIC 2008).

El género *Caulerpa* está caracterizado por tener estolones con variados tipos de frondas flexibles y un profuso conjunto de rizoides en diferentes partes del talo reptante que la fijan fuertemente sobre el sustrato (CARNEIRO *et al.* 2019), por lo que puede desarrollarse en lugares con fuertes corrientes y oleaje; además su estructura la protege contra la irradiación excesiva (GACIA *et al.* 1996), lo cual resulta ventajoso cuando crece en arrecifes tropicales poco profundos (COLLADO-VIDES & ROBLEDO 1999).

La destrucción de tejidos del coral libera sustancias orgánicas, favoreciendo a los organismos capaces de absorberlas, por lo que el coral afectado por *Kappaphycus* o *Caulerpa* puede aportar sustancias asimilables al medio circundante. HAYASHI *et al.* (2008) demostraron que *K. alvarezii* tiene una alta capacidad para remover nutrientes del ambiente y competir exitosamente con otros organismos autótrofos, presentando una elevada tasa de absorción de nitrógeno de las aguas circundantes (DY & YAP 2001). Un estudio del efecto de *K. alvarezii* cultivado en la bahía de Palk (Tamil Nadu, India) demostró que la declinación de los nutrientes en la columna de agua por el crecimiento del alga afectaba negativamente a las comunidades planctónicas y al meiobentos del área de cultivo (RAJARAM *et al.* 2021).

Tabla 1. Lista de especies de la flora y fauna identificadas en los arrecifes estudiados en la costa este de Isla Cubagua, estado Nueva Esparta, Venezuela.

PHYLUM	PHYLUM
ORDEN	ORDEN
FAMILIA	FAMILIA
ESPECIE	ESPECIE
CHLOROPHYTA	SPHACELARIALES
ULVALES	SPHACELARIACEAE
ULVACEAE	<i>Sphacelaria novae-hollandiae</i> Sonder
<i>Ulva clathrata</i> (Roth) C. Agardh	<i>S. rigidula</i> Kützing
<i>U. flexuosa</i> Wulfen	DICTYOTALES
<i>U. lactuca</i> Linnaeus	DICTYOTACEAE
<i>U. reticulata</i> Forsskål	<i>Canistrocarpus cervicornis</i> (Kütz.) D'Paula & D'Clerck
CLADOPHORALES	<i>Dictyopteris delicatula</i> Lamouroux
CLADOPHORACEAE	<i>Dictyota bartayresiana</i> Lamouroux
<i>Chaetomorpha antennina</i> (Bory) Kützing	<i>D. menstrualis</i> (Hoyt) Schn., Hörning & Weber-Peu
<i>C. gracilis</i> Kützing	<i>D. mertensii</i> (Martius) Kützing
<i>C. linum</i> (Müller) Kützing	<i>Padina antillarum</i> (Kützing) Piccone
<i>Cladophora montagneana</i> Kützing	<i>P. boergesenii</i> Allender & Kraft
<i>C. prolifera</i> (Roth) Kützing	FUCALES
<i>C. vagabunda</i> (Linnaeus) Hoek	SARGASSACEAE
SIPHONOCLADALES	<i>Sargassum polyceratium</i> Montagne
BOODLEACEAE	RHODOPHYTA
<i>Boodlea composita</i> (Harvey) Brand	ERYTHROPELTIDALES
<i>Cladophoropsis membranacea</i> (C. Agardh) Børgesen	ERYTHROTRICHIACEAE
<i>Phyllocladon anastomosans</i> (Harvey) Kraft & Wynne	<i>Erythrotrichia carnea</i> (Dillwyn) J. Agardh
VALONIAACEAE	<i>Sahlingia subintegra</i> (Rosenvinge) Kornmann
<i>Valonia macrophysa</i> Kützing	BONNEMAISONIALES
BRYOPSIDALES	BONNEMAISONIACEAE
BRYOPSIDACEAE	<i>Asparagopsis taxiformis</i> (Delile) Trevisan
<i>Bryopsis hypnoides</i> Lamouroux	CORALLINALES
<i>B. pennata</i> var. <i>leprieurii</i> (Kützing) Collins & Hervey	HAPALIDIACEAE
CAULERPACEAE	<i>Lithothamnion</i> sp.
<i>Caulerpa chemnitzia</i> (Esper) Lamouroux	CORALLINACEAE
<i>C. cupressoides</i> (West) C. Agardh	<i>Hydrolithon farinosum</i> (Lamou.) Penrose & Chamb.
<i>C. macrophysa</i> Sonder & Kützing	<i>Neogoniolithon</i> sp.
<i>C. mexicana</i> Sonder & Kützing	<i>Amphiroa fragilissima</i> (Linnaeus) Lamouroux
<i>C. racemosa</i> (Forsskål) J. Agardh	<i>Jania capillacea</i> Harvey
<i>C. sertularioides</i> (Gmelin) Howe	<i>J. pedunculata</i> var. <i>adhaerens</i> (Lamouroux) Harvey,
<i>C. sertularioides</i> f. <i>brevipes</i> (J. Agardh) Svedelius	Woelkerling & Reviere
CODIACEAE	NEMANIALES
<i>Codium repens</i> P. Crouan & H. Crouan	GALAXAURACEAE
<i>C. taylorii</i> Silva	<i>Galaxaura rugosa</i> (Ellis & Solander) Lamouroux
HALIMEDACEAE	LIAGORACEAE
<i>Halimeda opuntia</i> Lamouroux	<i>Liagora ceranoides</i> Lamouroux
HETEROKONTOPHYTA	CERAMIALES
ECTOCARPALES	CALLITHAMNIACEAE
ACINETOSPORACEAE	<i>Crouania attenuata</i> (C. Agardh) J. Agardh
<i>Hinckia mitchelliae</i> (Harvey) Silva	CERAMIACEAE
ECTOCARPACEAE	<i>Centroceras clavulatum</i> (C. Agardh) Montagne
<i>Ectocarpus rallsiae</i> Vickers	<i>C. gasparinii</i> (Meneghini) Kützing

- Ceramium diaphanum* (Lightfoot) Roth
C. nitens (C. Agardh) J. Agardh
 DASYACEAE
Dasya baillouviana (Gmelin) Montagne
D. corymbifera J. Agardh
 RHODOMELACEAE
Acanthophora muscoides (Linnaeus) Bory
A. spicifera (Vahl) Børgesen
Bryocladia thrysigera (J. Agardh) Schmitz
Chondria dasyphylla (Woodward) C. Agardh
C. sedifolia Harvey
Herposiphonia secunda (C. Agardh) Ambrom
Laurencia dendroidea (J. Agardh)
L. microcladia Kützing
L. obtusa (Hudson) Lamouroux
Palisada perforata (Bory) Nam
Polysiphonia subtilissima Montagne
Yuzurua poiteaui (Lamouroux) Martin-Lescanne
 SPYRIDIAEAE
Spyridia clavata Kützing
 GELIDIALES
 GELIDIACEAE
Gelidium pusillum (Stackhouse) Le Jolis
 PTEROCLADIACEAE
Pterocladia bartlettii (Taylor) Santelices
 GIGARTINALES
 CYSTOCLONIAEAE
Hypnea cornuta (Kützing) J. Agardh
H. musciformis (Wulfen) Lamouroux
H. spinella (C. Agardh) Kützing
Kappaphycus alvarezzi (Doty ex Silva)
 PHYLLOPHORACEAE
Gymnogongrus tenuis J. Agardh
 GRACILARIALES
 GRACILARIAEAE
Gracilaria cervicornis (Turner) J. Agardh
G. mammillaris (Montagne) Howe
 HALYMENIALES
 HALYMENIAEAE
Grateloupia filicina (Lamouroux) C. Agardh
 RHODYMENIALES
 CHAMPIACEAE
Champia parvula (C. Agardh) Harvey
 LOMENTARIAEAE
Ceratodictyon variable (Grev. & J. Agardh) Norris
 MAGNOLIOPHYTA
 HYDROCHARITALES
 HYDROCHARITACEAE
Thalassia testudinum Banks ex König
- CNIDARIA
 MILLEPORINA
- MILLEPORIDAE
Millepora alaicornis (Linnaeus, 1758)
 ZOANTHARIA
 SPHENOPIDAE
Palythoa caribaeorum (Duchassaing & Mich., 1860)
Palythoa grandis (Verrill, 1900)
 ZOANTHIDAE
Zoanthus pulchelus (Duchassaing & Mich., 1864)
 ACTINARIA
 STICHODACTYLIDAE
Stichodactyla helianthus (Ellis, 1768)
 ALCYONACEA
 ANTHOTHELIDAE
Erithropodium caribaeroum (Ducha. & Miche. 1860)
 PLEXAURIDAE
Plexaura flexuosa (Lamouroux, 1821)
Eunicea tourneforti (Milne Edwards & Haime, 1848)
Plexaurella dichotoma (Esper, 1791)
Muricea atlantica (Kükenthal, 1919)
M. muricata (Pallas, 1766)
 GORGONIIDAE
Pseudotergorgia acerosa (Pallas, 1766)
 SCLERACTINIA
 FAVIINAE
Favia fragum (Esper, 1788) M. Edw. & Haime, 1848
Diploria labyrinthiformis (L., 1758) Vaughan, 1901
D. strigosa (Dana, 1846) Vaughan & Wells, 1943
Colpopyllia natans (Houttuyn, 1772) Matthai, 1928
 DENDROGYRIIDAE
Dichocoenia stockesii (M. Edw. & Haime, 1848)
 AGARICIIDAE
Agaricia agaricites (Linnaeus, 1758) Dana, 1846
 SIDERASTRAEIDAE
Siderastrea siderea (Ellis & Solander, 1786) Milne
 Edwars & Haime, 1849
 PORITIIDAE
Porites astreoides (Lamarck, 1816)
 ECHINODERMATA
 CIDAROIDA
 CIDARIDAE
Eucidaris tribuloides (Lamarck, 1816)
 DIADEMATOIDA
 DIADEMATIDAE
Diadema antillarum (Philippi, 1845)
 TEMNOPLEUROIDA
 TOXOPNEUSTIDAE
Agaricia agaricites (Linnaeus, 1758) Dana, 1846
Lytechinus variegatus (Lamarck, 1816)
Tripneustes ventricosus (Lamarck, 1816)
 ECHINOIDA
 ECHINOMETRIDAE
Echinometra lucunter (Linnaeus, 1758)

Muchas macroalgas producen sustancias químicas que les permiten competir por el sustrato con otros organismos, o impiden su consumo por los herbívoros. Uno de los mecanismos que hace a *Caulerpa* una invasora exitosa es la producción de sustancias alelopáticas como caulerpina, caulerpinina, caulerpicina, terpenos y alcaloides, que reducen el crecimiento de macrofitas competidoras y resultan tóxicos para muchos herbívoros (BOX *et al.* 2010; MAO *et al.* 2011). Por otra parte, *K. alvarezii* también metaboliza varios compuestos bioactivos (PRABHA *et al.* 2013). En un estudio sobre los compuestos presentes en *K. alvarezii* colectada en isla Cubagua, D'ARMAS *et al.* (2020) encontraron distintos metabolitos secundarios con elevada bioactividad, observando efectos deletéreos de extractos del alga en larvas del crustáceo *Artemia salina* (CL50 < 300 µg.ml⁻¹). En el presente trabajo *K. alvarezii* mostró marcas de herbivoría, por el contrario no fue evidente el pastoreo sobre *C. chemnitzia*. Se ha demostrado que algunos compuestos químicos de las macroalgas son más efectivos en algunos tipos de herbívoros que en otros, por lo que muchos invertebrados pueden establecerse e incluso consumir algas defendidas químicamente (DUFFY & HAY 1994).

Los erizos y peces herbívoros se alimentan de *K. alvarezii*, observándose los peces loros (*Halichoeres bivittatus* y *Sparisoma* sp.) y cirujanos (*Acanthurus* sp.) en el arrecife estudiado. Las algas exóticas no escapan al pastoreo ya que los herbívoros generalistas reemplazan funcionalmente a los consumidores de estas especies en sus áreas geográficas de distribución natural (VERMEIJ *et al.* 2009). En la India, GANESAN *et al.* (2006) reportaron pérdidas superiores al 10% de la biomasa de *Kappaphycus* en granjas de cultivo, señalando a los peces loro *Cetoscaru* sp. y cirujano *Acanthurus* sp. como los principales comensales.

Cubagua ha sido durante muchos años sometida a una explotación pesquera excesiva, lo que ha disminuido las poblaciones de herbívoros marinos (PARRA & RUIZ 2003; TAGLIAFICO *et al.* 2011). En este trabajo, además del erizo *T. ventricosus*, se observó un ejemplar de *D. antillarum*, principal invertebrado herbívoro del Caribe que controla las algas en los ecosistemas arrecifales, lo que muestra la reducida población de este erizo en la zona estudiada, considerándose que 2 ind.m⁻² es la mínima densidad efectiva para la remoción de algas (STEINER & WILLIAMS 2006). La mortandad del 95% de

Tabla 2. Resumen estadístico por especies y tipo de sustrato de los porcentajes de cobertura en las estaciones 1 y 2 de la costa este de isla Cubagua, Venezuela.

Phylum o Clase	Especie	Media		D. Standard		Min - Max	
		E-1	E-2	E-1	E-2	E-1	E-2
Rhodophyta	<i>K. alvarezii</i>	10,53	0,0	11,84	0,0	0 - 56	0
	<i>L. microcladia</i>	0,08	0,20	0,1	0,6	0 - 2	0 - 5
Chlorophyta	<i>C. chemnitzia</i>	29,37	13,69	21,91	14,52	0 - 73	0 - 65
	<i>B. pennata</i>	0,39	0,71	1,07	1,22	0 - 7	0 - 5
Hydrozoa	<i>M. alcicornis</i>	31,65	64,37	25,25	21,07	0 - 100	4 - 98
Anthozoa	<i>S. helianthus</i>	0,34	0,51	0,74	1,08	0 - 6	0 - 7
	<i>Z. pulchelus</i>	1,50	0,57	4,10	3,36	0 - 31	0 - 13
	<i>P. grandis</i>	0,20	0,0	0,5	0,0	0 - 4	0
	<i>P. flexuosa</i>	4,52	1,86	15,42	8,52	0 - 86	0 - 68
	<i>D. strigosa</i>	0,075	0,0	0,002	0,0	0	0,4
Liliopsida	<i>T. testudinum</i>	0,51	2,69	1,26	5,75	0 - 8	0 - 27
Otros		0,965	1,99	0,64	1,08	0 - 4	0 - 7
Substrato muerto		19,87	13,41	20,58	14,98	0 - 88	0 - 86

D. antillarum ocurrida durante el periodo 1983-1984 y sus lentas tasas de recuperación, inciden en el aumento de las poblaciones de algas en los arrecifes caribeños (LESSIOS *et al.* 1984; WILLIAN & POLUNIN 2001). A pesar de los pocos invertebrados herbívoros observados, el evidente pastoreo sobre *K. alvarezii* es un indicio de que los erizos pueden constituir un factor de control de esta alga invasora.

Algunos investigadores señalan que las interacciones positivas entre diferentes algas facilitan el establecimiento de las especies invasoras, provocando efectos adversos sobre los organismos autóctonos (INDERJIT *et al.* 2006). En este estudio se observó una relación sinérgica entre *K. alvarezii* y *C. chemnitzia*: el tipo de crecimiento y compuestos químicos producidos por *K. alvarezii* le permiten establecerse exitosamente sobre *Millepora*, siendo compensado el pastoreo de *Kappaphycus* por su elevada regeneración celular y rápido crecimiento, la muerte del coral aumenta el substrato disponible que es colonizado por *C. chemnitzia*, que presenta un crecimiento estolonífero y es resistente al pastoreo de los herbívoros presentes en la zona, por lo que *C. chemnitzia* pasa a ser una especie oportunista que se expande a expensas del alga exótica.

Una comunidad coralina está experimentando una fase de cambio cuando la presión ejercida por un constante disturbio conlleva a la disminución prolongada de la cobertura de los corales, acompañado del incremento de la cobertura de algún tipo de organismo béntico, por lo general macroalgas, propiciando que haya un cambio de dominancia del substrato de corales a algas, haciendo que la composición de especies de coral varíe o desaparezca, pasando de especies de lento crecimiento a especies de rápido crecimiento (INCODER-UJTL 2014). En isla Cubagua se ha detectado graves daños en las formaciones coralinas de Punta Charagato y Playa Conejo, con áreas coralinas muertas recubiertas del alga *U. lactuca* (RAMÍREZ-VILLARROEL 2001), por lo que la invasión de los corales por el alga exótica *K. alvarezii* en isla Cubagua y su efecto sobre la comunidad coralina puede sumarse a una serie de factores que atentan contra la integridad de los arrecifes de la isla y por extensión, de la región nororiental de Venezuela.

REFERENCIAS

ALCOLADO, P. 1990. *Generalidades sobre las comunidades de esponjas de la macrolaguna del Golfo de Batabano*. En: *El bentos de la macrolaguna*

del Golfo de Batabano. Instituto de Oceanología. Editorial Academia, Cuba. 18-24.

- ALIDOOST-SALIMI, P., J. CREED, M. ESCH, D. FENNER, Z. JAAFAR, J. LEVESQUE, A. MONTGOMERY, M. ALIDOOST-SALIMI, J. PATTERSON-EDWARD, K. DIRAVIYA-RAJ & M. SWEET. 2021. A review of the diversity and impact of invasive non-native species in tropical marine ecosystems. *Mar. Biodiv. Rec.* 14(11): 1-19.
- ASK E., A. BATIBASAGA, J. ZERTUCHE-GONZÁLEZ & M. DE SAN. 2003. *Three decades of Kappaphycus alvarezii (Rhodophyta) introduction to non-endemic locations*. En: *Proceedings of the 17th International Seaweed Symposium*. Chapman ARO, Anderson RJ, Vreeland V.J. & Davison I.R. (Eds.). Cape Town, South Africa, 28 January- 2 February 2001. Pp. 49-57.
- BARRIOS, J. 2005. Dispersión del alga *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta) en la región nororiental de Venezuela. *Bol. Inst. Oceanog. Venezuela*, 44: 29-34.
- BARRIOS, J., J. BOLAÑOS & R. LÓPEZ. 2007. Blanqueamiento de arrecifes coralinos por la invasión de *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) en isla Cubagua, estado Nueva Esparta, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanog. Venezuela* 46 (2): 147-152.
- BAYER, F.M. 1961. *The Octocorallia of west Indian region. A manual for marine biologists*. The Hauge, Martinus Nijhoff, Netherlands. 373 pp.
- BOX, A., A. SUREDA, P. TAULER, J. TERRADOS, N. MARBÀ, A. PONS & S. DEUDERO. 2010. Seasonality of caulerpenyna contente in native *Caulerpa prolifera* and invasive *C. taxifolia* and *C. racemosa* var. *cylindracea* in the western Mediterranean Sea. *Bot. Mar.* 53: 367-375.
- CALDER, D. & D. CAIRNS. 2009. *Hydroids (Cnidaria: Hydrozoa) of the Gulf of Mexico*. En: *Gulf of México-origins, and biota, biodiversity*. Felder, D. L. & D. K. Camp (Eds.). Texas A. & M. University Press, College Station, Texas. United States of America. 381-394.
- CARNEIRO, V., M. OLIVEIRA-CARVALHO, J. BRITO, F. LIMA & E. GUEDES. 2019. Ocorrência e distribuição do gênero *Caulerpa* J.V. Lamour. (Bryopsidales - Chlorophyta) no estado de Alagoas, Nordeste Brasileiro. *Hoehnea* 46(4): 1-18.
- CERVIGÓN, F. 1989. Isla de Cubagua. En: *Islas de Venezuela*. Editorial Arte, Caracas. Venezuela. 26-29.

- CERVIGÓN, F. 1997. *500 años de Cubagua. Atlas de la Isla de Cubagua*. Fundación Museo del Mar, Porlamar, Venezuela. 153 pp.
- CHANDRASEKARAN, S., N. NAGENDRAN, D. PANDIARAJA, N. KRISHNANKUTTY & B. KAMALAKANNAN. 2008. Bioinvasion of *Kappaphycus alvarezii* on corals in the Gulf of Mannar, India. *Curr. Sci.*, 94: 1167-1172.
- CLARKE, K. & R. GORLEY. 2006. *PRIMER v5 (and v6): User manual/tutorial, Primer-E*. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK.
- COLLADO-VIDES, L. & D. ROBLEDO. 1999. Morphology and photosynthesis of *Caulerpa* (Chlorophyta) in relation to growth form. *J. Phycol.* 35: 325-330.
- CONKLIN, E. & J. SMITH. 2005. Abundance and spread of the invasive red algae, *Kappaphycus* spp., in Kāneʻohe Bay, Hawaiʻi and an experimental assessment of management options. *Biol. Invasions* 7(6): 1029-1039.
- CORTÉS, J. & A. LEÓN. 2002. *Arrecifes coralinos del Caribe de Costa Rica*. INBio, Heredia. 140 pp.
- D'ARMAS, H., M. NEYRA, M. SEGNINI, L. BRITO & J. BARRIOS. 2020. Composición química y biotoxicidad del alga roja *Kappaphycus alvarezii* Doty (Solieriaceae). *Aquatechnica* 2(1): 31-40.
- DAWES, C. & A. MATHIESON. 2008. *The seaweeds of Florida*. Universidad de Florida. Florida, Estados Unidos. 591 pp.
- DE LA CRUZ-FRANCISCO, V., M. GONZÁLEZ-GONZÁLEZ & L. FLORES-GALICIA. 2016. Distribución de los hábitats bentónicos de la laguna del arrecife Enmedio, sistema arrecifal Lobos-Tuxpan, México. *Rev. Inv. Mar.* 36 (1): 63-78.
- DÍAZ-PULIDO, G., J. SÁNCHEZ, S. ZEA, J. DÍAZ & J. GARZÓN. 2004. Esquemas de distribución espacial en la comunidad bentónica de arrecifes coralinos continentales y oceánicos del Caribe Colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 28(108): 337-347.
- DUFFY, J. & M. HAY. 1994. Herbivore resistance to seaweed chemical defense: the roles of mobility and predation risk. *Ecology* 75: 1304-1319.
- DY, D. & H. YAP. 2001. Surge ammonium uptake of the cultured seaweed, *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty (Rhodophyta: Gigartinales). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 265: 89-100.
- EGGERTSEN, M. & C. HALLING. 2021. Knowledge gaps and management recommendations for future paths of sustainable seaweed farming in the Western Indian Ocean. *Ambio* 50: 60-73.
- GACIA, E., M. LITTLER & D. LITTLER. 1996. The relationships between morphology and photosynthetic parameters within the polymorphic genus *Caulerpa*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 204: 209-224.
- GANESAN, M., S. THRUPATHI, N. SAHU & N. RENGARAJAN. 2006. *In situ* observation on preferential grazing of seaweed by some herbivores. *Curr. Sci.* 91(9): 1256-1260.
- GÓMEZ, M. & I. HERNÁNDEZ-ÁVILA. 2011. Equinodermos de la bahía de Tunantal, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela* 50(2): 209-231.
- GONZÁLEZ, P. 1970. Algunos octocorales de la isla de Margarita, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente* 9(1-2): 79-92.
- GUIRY, M. & G. GUIRY. 2021. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponible en: <http://www.algaebase.org>.
- HAYASHI, L., N. YOKOYA, S. OSTINI, R. PEREIRA & E. BRAGA. 2008. Nutrients removed by *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in integrated cultivation with fishes in recirculating water. *Aquaculture* 277: 185-191.
- HENDLER, G., J. MILLER., D. PAWSON & P. KIER. 1995. *Sea stars, sea urchins, and allies Echinoderms of Florida and the Caribbean*. Smithsonian Institution Press, Washington and London. 390 pp.
- HUMANN, P. & N. DELOACH. 2006. *Reef coral identification*. Second edition, third printing. New world publication. Florida, USA. 278 pp.
- INCODER-UJTL. 2014. *Visión integral de los Archipiélagos de Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo. Parte I*. En: *Ambiente y Desarrollo en el Caribe colombiano*, 3(1). Instituto Colombiano de Desarrollo Rural; Universidad Jorge Tadeo Lozano, Seccional Caribe. 112 pp.
- INDERJIT, D., M. RAELETTI & S. KAUSKIK. 2006. Invasive marine algae: An ecological perspective. *Botanic. Rev.* 72 (2):153-178.

- LESSIOS, H., D. ROBERTSON & J. CUBIT. 1984. Spread of *Diadema* mass mortality through the Caribbean. *Science* 226: 335-337.
- LEWIS, J. B. 1996. Spatial distribution of the calcareous hydrozoans *Millepora complanata* and *Millepora squarrosa* on coral reefs. *Bull. Mar. Sci.* 59(1): 188-195.
- LEWIS, J.B. 2006. The biology and ecology of the hydrocoral *Millepora* on coral reefs. *Adv. Mar. Biol.* 50: 1-55.
- LITTLER, D. & M. LITTLER. 2000. *Caribbean Reef Plant*. Editorial Offshore Graphics Inc. Washington, D. C. 542 pp.
- LIRMAN, D. 2001. Competition between macroalgae and corals: effects of herbivore exclusion and increased algal biomass on coral survivorship and growth. *Coral Reef* 19: 392-399.
- LOYD, M. & R. GHELARDI. 1964. A table for calculating the «equitability» component of species diversity. *J. Anim. Ecol.* 33: 217-225.
- MAO, S., D. LIU, X. YU & X. LAI. 2011. A new polyacetylenic fatty acid and other secondary metabolites from the Chinese green alga *Caulerpa racemosa* (Caulerpaceae) and their chemotaxonomic significance. *Biochem. Syst. Ecol.* 39: 253-257.
- MARGALEF, R. 1995. *Ecología*. Editorial Omega, Barcelona, España. 951 pp.
- PARRA, B. & L. RUIZ. 2003. Estructura de la comunidad de peces en la costa oriental de la isla de Cubagua, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 51(4): 197-203.
- PIRANI, N., L. HAYASHI, F. BERCHEZ, N. SUMIE & E. CABRAL. 2008. An alternative environmental monitoring approach to nonindigenous species introduced for maricultural purposes: the case of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) cultivation in Brazil. *Oecol. Bras.* 12(2): 270-274.
- PRABHA, V., D. PRAKASH & P. SUDHA. 2013. Analysis of bioactive compounds and antimicrobial activity of marine algae *Kappaphycus alvarezii* using three solvent extracts. *Int. J. Pharm. Sci. Res.* 4 (1): 306-310.
- SÁNCHEZ, J., S. ZEA & J. DÍAZ. 1997. Gorgonian communities of two contrasting environments from oceanic Caribbean atolls. *Bull. Mar. Sci.* 61 (2): 61-72.
- SANT, S., A. PRIETO & E. DE ELGUEZABAL. 2002. Composición y estructura de la comunidad de corales en dos localidades del Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanog. Venezuela*, 41(1-2): 39-44.
- SELLERS, A., K. SALTONSTALL & T. DAVIDSON. 2015. The introduced alga *Kappaphycus alvarezii* (Doty ex P.C. Silva, 1996) in abandoned cultivation sites in Bocas del Toro, Panamá. *BioInvasions Records* 4(1): 1-7.
- SMITH, J., C. HUNTER & C. SMITH. 2002. Distribution and reproductive characteristics of nonindigenous and invasive marine algae in the Hawaiian island. University of Hawaii Press. *Pacif. Sci.* 56(3): 299-315.
- SMITH, J. 2003. Invasive macroalgae on Hawaii's coral reefs: Impacts, interactions, mechanisms and management. *J. Phycol.* 39(1): 1-53.
- STEINER, S. & S. WILLIAMS. 2006. The density and size distribution of *Diadema antillarum* in Dominica (Lesser Antilles): 2001-2004. *Mar. Biol.* 149: 1071-1078.
- RAJARAM, R., S. RAMESHUMAR, B. PARAY & M. ALBESHR. 2021. Impacts of cultivation of red algae *Kappaphycus alvarezii* on planktonic and benthic faunal density in relation to environmental and hydrobiological parameters in tropical coastal ecosystem. *Acta Ecol. Sinica* 41: 39-49.
- RAMÍREZ-VILLARROEL, P. 2001. *Corales de Venezuela*. Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente; Fundaconferry. Porlamar, Venezuela. 219 pp.
- RAMÍREZ-VILLARROEL, P. 2008. *Diccionario de islas de Venezuela*. Fondo editorial de la Universidad de Oriente; Instituto de prevención social del personal docente y de investigación de la Universidad de Oriente. Porlamar, Venezuela. 144 pp.
- RANGEL, M. & A. TAGLIAFICO. 2016. Estructura poblacional de *Atrina seminuda* y *Pinna carnea* (Bivalvia: Pinnidae) en la Isla de Cubagua, Venezuela. *Bol. Cent. Inv. Biol.* 50 (2): 164-180.
- RINCONES, R. & J. RUBIO. 1999. Introduction and commercial cultivation of the red alga *Euclima* in Venezuela for the production of phycocolloids. *World Aquac.* 30(2): 57-61.
- RODGERS, S. & E. COX E. 1999. Rate of spread of introduced rhodophytes *Kappaphycus alvarezii*, *Kappaphycus striatum* and *Gracilaria salicornia*,

- and their current distribution in Kāneʻohe Bay, Oʻahu Hawaiʻi. *Pac Sci.* 53(3): 232-241.
- SHANNON, C. & W. WEAVER. 1949. *The mathematical theory of communication*. Urbana Univ. Illinois Press. 117 pp.
- TAGLIAFICO, A., M. RANGEL & N. RAGO. 2011. Distribución y densidad de dos especies de holoturoideos en la isla de Cubagua, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 59: 843-852.
- TAYLOR, W. R. 1960. *Marine algae of the eastern tropical and subtropical coast of the America*. Lord Baltimore Press, Michigan University. 870 pp.
- VELÁZQUEZ-BOADAS, A. & J. RODRÍGUEZ. 2012. Catálogo: macroalgas y macrófitas acuáticas del estado Nueva Esparta, Venezuela. En homenaje a Mirella A. Aponte Díaz. Edición especial. *EcoCria* 12 y 13. 145 pp.
- VERMEIJ M., J. SMITH, C. SMITH, R. VEGA-THURBER & S. SANDIN. 2009. Survival and settlement success of coral planulae: independent and synergistic effects of macroalgae and microbes. *Oecologia* 159: 325–336.
- WEB FICOFLORE VENEZUELA. 2021. Catálogo de la Ficoflora de Venezuela. Gómez, S., Y. Carballo-Barrera, M. García & N. Gil (Eds.). Universidad Central de Venezuela, Caracas. Disponible en <http://www.ciens.ucv.ve/ficofloravenezuela>
- WILLIAN, I. & D. POLUNIN. 2001. Large-scale association between macroalgal cover and grazer biomass on mid-depth reefs in the Caribbean. *Coral Reefs* 19: 358-366.
- WOO, M., C. SMITH & W. SMITH. 1999. *Ecological interaccion and impacts of invasive Kappaphycus striatum in Kane`Ohe bay, a tropical reef*. En: *Proce. First Nat. Conf. Mar. Bioinvaders*. Pederson, J. (Ed.) MIT Sea Grant Program, Cambridge, Massachusetts, USA. 186-191.
- ZULJEVIC, A. & V. NIKOLIC. 2008. The highly invasive alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* poses a new threat to the banks of the coral *Cladocora caespitosa* in the Adriatic Sea. *Coral Reef* 27: 441-452.

RECIBIDO: MAYO2021

ACEPTADO: JULIO 2021

Ficocoloides y cultivo de macroalgas marinas en Venezuela: una revisión

Phycocolloids and marine macroalgae culture in Venezuela: a review

Jorge Barrios-Montilla¹, Andrés Montes²,
Josefa Morales³

¹Departamento de Biología Marina, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, estado Sucre, Venezuela

²Instituto Socialista de la Pesca y Acuicultura (INSOPESCA)

³Centro Nacional de Investigación de Pesca y Acuicultura (CENIPA), Venezuela.

Correspondencia Jorge Barrios-Montilla  jebarster@gmail.com

Palabras clave |

Algacultura,
desarrollo,
geles,
Gracilariopsis tenuifrons,
Kappaphycus alvarezii.

RESUMEN |

Las macroalgas marinas son una importante fuente de ficocoloides, los más conocidos son el agar y la carragenina (algas rojas) y el ácido algínico (algas pardas), conociéndose para Venezuela 67 especies de macroalgas gelofitas. El presente estudio se basó en la revisión de la bibliografía disponible; los nombres de las especies se actualizaron según la nomenclatura vigente. En Venezuela se han estudiado 23 especies de macroalgas productoras de geles: 11 agarofitas, 4 carragenofitas, 4 alginofitas y 4 con otros ficocoloides. Un resumen sinóptico-cronológico de actividades relacionadas con el aprovechamiento de las macroalgas marinas en Venezuela entre 1980 y 2023, incluye 43 ítems relevantes en el desarrollo de la algacultura en el país. Las especies con mayor éxito en el desarrollo de cultivos fueron *Gracilariopsis tenuifrons* y el alga exótica *Kappaphycus alvarezii*, siendo esta última la que ha propiciado un incipiente mercado de exportación debido a su elevada demanda internacional. La valiosa experiencia acumulada en estos años de investigación y ensayos de cultivo de macroalgas se puede enfocar en un proceso que combine equilibrio ambiental y desarrollo de la actividad, la cual se vislumbra como una alternativa para incrementar los ingresos económicos de las comunidades pesqueras.

| 950 |

Keywords |

Algaculture,
development,
gels,
Gracilariopsis tenuifrons,
Kappaphycus alvarezii.

ABSTRACT | The present study was based on the review of the available literature; the species names were updated according to the current nomenclature. In Venezuela, 23 species of gel-producing macroalgae have been studied: 11 agarophytes, 4 carrageenophytes, 4 alginophytes and 4 with other phycocolloids. A synoptic-chronological summary of activities related to the use of marine macroalgae in Venezuela between 1980 and 2023, includes 43 relevant items in the development of algaculture in the country. The most successful species in crops development were *Gracilariopsis tenuifrons* and the exotic algae *Kappaphycus alvarezii*, the latter being the one that has led to an incipient export market due to its high international demand. The valuable experience accumulated in these years of research and macroalgae cultivation trials can be focused on a process that combines environmental balance and development of the activity, which is seen as an alternative to increase the economic income of fishing communities.

INTRODUCCIÓN

La demanda de organismos marinos y sus subproductos ha estado en constante crecimiento durante los últimos años, con un incremento de su explotación en amplias regiones costeras a nivel mundial, como el caso de las algas marinas, cuya producción ha venido creciendo gradualmente en las últimas décadas. En el 2020 se produjeron 36 millones de toneladas (peso fresco) de algas, con un crecimiento anual del 2%, siendo los países asiáticos los principales productores del rubro mediante acuicultura, con el 97% de la producción mundial de algas (FAO, 2020).

Las macroalgas marinas son una importante fuente de sustancias gelificantes denominadas ficocoloides, polisacáridos complejos que son extraídos de algunas especies de algas rojas y pardas, los cuales son componentes estructurales del tejido del alga; disueltos en concentraciones que van de 0,5 a 5 %, constituyen matrices coloidales que según su grado de viscosidad pueden actuar como agentes gelificantes, estabilizantes, espesantes y emulsificantes en diversos procesos y productos industriales, los ficocoloides más conocidos son el agar y la carragenina, obtenidos de algas rojas, y el ácido alginico o alginatos,

obtenidos de algas pardas, aunque existen muchos otros obtenidos en menor cantidad (Montoya et al., 2017).

El interés en el uso de las macroalgas en Venezuela se inició con el estudio pionero de Díaz-Piferrer (1967), quien señaló la presencia de 57 macroalgas con potencial para la obtención de geles, como alimento humano y animal, elaboración de abonos y producción de sustancias de interés farmacológico. Ganesan (1989) catalogó 67 especies de macroalgas con potencial como productoras de geles: 33 agarofitas, 12 carragenofitas y 22 alginofitas.

La creciente exigencia de ficocoloides como materia prima en la industria manufacturera nacional, dio impulso a los entes públicos y privados, por medio de los centros de investigación radicados en el país, al estudio de la biología, ecología, composición química y calidad de los derivados de algunas macroalgas. Racca (1966) realizó estudios pioneros en cuanto al aprovechamiento industrial de especies autóctonas, con aportes en la metodología para determinar la calidad de los geles.

Los cultivos de macroalgas en Venezuela han estado centrados en dos especies de algas rojas que han mostrado un buen desempeño en cuanto a los métodos de producción, calidad de los geles obtenidos y comercialización, la agarofita autóctona *Gracilariopsis tenuifrons* y la carragenofita introducida *Kappaphycus alvarezii* (Lemus, 1992; Racca et al., 1993; Rincones y Rubio, 1999). El establecimiento de estos cultivos ha presentado numerosos altibajos, desde problemas de mercadeo, hasta elementos de tipo cultural, ambiental y legal que han jalonado su desarrollo.

En el presente trabajo se hace una revisión de los estudios de los ficocoloides y el cultivo de macroalgas productoras de geles en Venezuela en las últimas 4 décadas, basado en fuentes bibliográficas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se recopiló la literatura disponible relacionada con el estudio de los ficocoloides en Venezuela y el cultivo de macroalgas productoras de geles de interés comercial, para lo cual se consultaron páginas web de internet, publicaciones científicas, tesis de grado y trabajos de ascenso, incorporándose observaciones personales de los autores sobre actividades relacionadas con la algacultura desarrolladas en el país. Los nombres de las especies de macroalgas se actualizaron según Guiry y Guiry (2023).

Con esta información se elaboró un listado de las especies productoras de ficocoloides evaluadas en Venezuela, las localidades, tipo de estudio y las respectivas referencias (Tabla 1), además se elaboró un resumen cronológico sobre las investigaciones, evaluación de recursos, proyectos de cultivo y demás actividades relacionadas con el tema (Tabla 2).

RESULTADOS

En Venezuela se ha estudiado 23 especies de macroalgas productoras de geles: 11 agarofitas, 4 carragenfitas, 4 alginofitas y 4 con polisacáridos gelificantes, evaluándose aspectos tales como su ecología, prospección de bancos silvestres, reología (rendimiento, fuerza del gel, viscosidad, temperaturas de fusión y gelificación de los ficocoloides), ciclos de vida, cariólogía, sistemas de cultivo experimentales, especies introducidas, entre otros (Tabla 1).

La información recabada permitió elaborar un cuadro sinóptico-cronológico (Tabla 2), con un total de 43 ítems sobre las actividades relacionadas con el estudio de las especies de macroalgas de interés comercial y su cultivo, evaluación de los ficocoloides y actividades clave relacionadas con el desarrollo de la algacultura en Venezuela.

Tabla 1. Especies de macroalgas productoras de ficocoloides estudiadas en Venezuela.

Especies	Localidades, tipo de estudio y referencias
AGAROFITAS	
<i>Gelidium floridanum</i> Taylor: S, R (Lemus et al., 1991); NE, Car (Kapraun et al., 1993).	
<i>G. serrulatum</i> J. Agardh: S, NE, P, R (Aponte, 1987); S, NE, P (Lemus y Aponte-Díaz, 1987); S, NE, R (Lemus y Aponte-Díaz, 1988); S, R (Lemus et al., 1991); NE, Car (Kapraun et al., 1993); S, CV (Loayza y Lemus, 1994); NE, P (Lemus y Gómez, 1995); LG, R, CV (*Ardito, 2001); LG, Fen (Ardito y Gómez, 2005); LG, R (*Ardito, 2007); LG, U (Ardito et al., 2007); A, LG, M, Fen (Huérfano, 2007); S, R (Brito y Silva, 2007).	
<i>Gelidiella acerosa</i> (Forsskål) Feldmann y Hamel: F, P, R (Foldats, 1980).	
<i>Gracilaria cervicornis</i> (Turner) J. Agardh: NE, P (Lemus y Aponte-Díaz, 1987); S, R (Aponte-Díaz y Lemus, 1989); S, R (Brito et al., 2007); S, R (*Reyna, 1991); S, P (*Blanco, 1991).	
<i>G. cornea</i> J. Agardh: F, P, R (Foldats, 1980); F, P, R (Rincones, 1989).	
<i>G. damicornis</i> J. Agardh; S, R (Brito y Lemus, 1996); S, CV (Brito y Silva, 2004).	
<i>G. domingensis</i> (Kützting) Sonder ex Dickie: F, P, R (Foldats, 1980); NE, R (Palma et al., 1987); NE, P (Lemus y Aponte-Díaz, 1987); S, R (Aponte-Díaz y Lemus, 1989); S, R (*Reyna, 1991); S, P (*Blanco, 1991); S, R (*Duarte, 1995); F, R (Quintero et al., 2020).	
<i>Gracilaria</i> spp.: NE, P (Lemus y Aponte-Díaz, 1987).	
<i>Gracilariopsis hommersandii</i> Gurgel, Fredericq y Norris; F, R (*Vincenti, 2010); F, R (Rodríguez et al., 2019).	
<i>G. tenuifrons</i> (Bird y Oliveira) Fredericq y Hommersand: S, R (Aponte-Díaz y Lemus, 1989); S, R (*Reyna, 1991); S, CE (Lemus, 1992); S, C (Rincones et al., 1992); S, R, C (Racca et al., 1993); NE, Car (Kapraun et al., 1993); S, R (Rincones et al., 1993); S, E (Balladares et al., 1995); S, C (Dawes, 1995); S, Fi (Bellorín y Lemus, 1997); S, R (Brito y Lemus, 1998); S, E (*Barrios, 1998); S, R (Chiquin y Kodaira, 1999); S, R (Brito, 2000); S, F (Bellorín y Lemus, 1997); S, E (Barrios, 1999); S, R (Zecchin et al., 2000); S, Fen, CV (Brito y Silva, 2005); S, R (Lemus et al., 2023).	
<i>Pterocladia capillacea</i> (Gmelin) Santelices y Hommersand; S, P (Lemus y Aponte-Díaz, 1987); S, NE, R (Lemus y Aponte-Díaz, 1988); S, E, R (Velásquez et al., 1988); LG, E, CV (*Huérfano, 1998); S, CE (Lemus, 1992); NE, Car (Kapraun et al., 1993); A, LG, M, Fen (Huérfano, 2007).	
CARRAGENOFITAS	
<i>Eucheuma denticulatum</i> (Burman) Collins y Hervey: S, NE, CE (Rincones y Rubio, 1999).	
<i>Eucheumatopsis isiformis</i> (C. Agardh) Núñez-Resendiz, Dreckmann y Senties : NE, CE (Montoya et al., 2020).	
<i>Hypnea musciformis</i> (Wulfen) Lamouroux: NE, R (Palma et al., 1987); S, TIFM (*León 1990).	
<i>Kappaphycus alvarezii</i> (Doty) Liao : S, NE, CE (Rincones y Rubio 1999), S, NE, E (Barrios, 2005), NE, E (Barrios et al., 2007) ; NE, E (Barrios et al., 2021).	
ALGINOFITAS	
<i>Padina gymnospora</i> (Kützting) Sonder: NE, R (Guevara y Palma, 1986).	
<i>Sargassum filipendula</i> C. Agardh: NE, R (Guevara y Palma, 1986).	
<i>Sargassum cymosum</i> C. Agardh: NE, R (*Arellano, 1989).	
<i>Sargassum vulgare</i> C. Agardh, nom. illeg.: NE, R (*Arellano, 1989).	
POLISACARIDOS QUE FORMAN GELES (PORFIRÓN Y OTROS)	
<i>Bostrychia moritziana</i> (Sonder et Kützting) J. Agardh: S, R (Youngs et al., 1998).	
<i>Laurencia filiformis</i> (C. Agardh) Montagne : F, R (Canelón et al., 2014).	
<i>L. obtusa</i> (Hudson) Lamouroux: F, R (Canelón et al., 2014).	
<i>Neoporphyra spiralis</i> var. <i>amplifolia</i> (Oliveira y Coll) Wynne: NE, E, CV (Kapraun y Lemus, 1987); NE, Car (Kapraun y Freshwater, 1987); NE, Car (Kapraun et al., 1991).	

Nomenclatura: Localidades (A = Aragua, F = Falcón, LG = La Guaira, M = Miranda, NE = Nueva Esparta, S = Sucre, TIFM = Territorio Insular Francisco de Miranda). Tipo de estudio (Car = Cariología, CC = Cultivo Comercial, CE = Cultivo Experimental, CV = Cibo Vital, E = Ecología, Fen = Fenología, Fi = Fisiología, P = Prospección, R = Reología, U = Usos) *Tesis y trabajos de ascenso no

publicados.

Tabla 2. Resumen sinóptico-cronológico de actividades relacionadas con el aprovechamiento y desarrollo de cultivos de macroalgas en Venezuela (1980-2023).

Investigación, evaluación de recursos y proyectos de cultivo

1980-85

- Prospección de bancos de algas agarofitas en el estado Falcón.

1985-90

- Desarrollo de cultivos experimentales de *Gracilaria cornea* en Falcón, financiado por entes estatales.
- Evaluación de la extensión, biomasa y reología de geles de algunos bancos de algas agarofitas en los estados Sucre y Nueva Esparta.
- Reconocimiento del rendimiento y fuerza del gel del agar de diferentes alginofitas en Venezuela.
- Proyecto de selección y cultivo de algas productoras de geles en el oriente de Venezuela.
- Instalación de una planta piloto de producción de agar en Cumaná (Universidad de Oriente).
- Creación de Geles del Caribe C.A. (GELCA), planta de agar en Cumaná de la empresa POLAR.
- Ensayos de cultivo de *Gracilariopsis tenuifrons* por el sistema de cuerdas suspendidas en la costa norte de Araya (estado Sucre): selección de áreas, evaluación de tasas de crecimiento, tiempo de cosecha y estudios reológicos del agar obtenido.
- Cultivo experimental de *G. tenuifrons* en la Estación Hidrobiológica de Turpialito (IOV-UDO), golfo de Cariaco, estado Sucre.
- Se estudió el potencial de cultivo en ensayos experimentales del alga roja *Neoporphyra spiralis* var. *amplifolia* proveniente de la Isla de Margarita, Venezuela.

1990-95

- Estudio de la calidad y rendimiento de agar y biomasa cosechable de *Gelidium floridanum*, *G. serrulatum* y *Pterocladia capillacea* en Venezuela.
- Desarrollo de un paquete tecnológico de cultivo intensivo de *G. tenuifrons*, siembra de 3 hectáreas como fuente de clones y propuesta de cultivo intensivo en la península de Araya (Sucre) por la empresa GELCA.
- Problemas de herbivoría y epibiosis, conflictos de tipo laboral con los cultivadores locales y precios poco atractivos del mercado internacional de macroalgas limitan las áreas cultivadas de *G. tenuifrons* en el estado Sucre.
- Ensayos de cultivo de *G. tenuifrons* en Falcón a partir de material trasladado del estado Sucre (entes estatales y privados).
- Disolución de la empresa Geles del Caribe.
- Transferencia de cultivos de *G. tenuifrons* a familias de pescadores de la costa norte de Araya bajo supervisión privada.

1995-2000

- Evaluación del agar de *Gelidiella acerosa* y *Gracilaria mammillaris* del estado Falcón.
- Creación de la compañía BIOTECMAR (Cultivos y Biotecnología Marina, C.A.).
- Introducción de las algas *Kappaphycus alvarezii* y *Euचेuma denticulatum* desde Filipinas para cultivos experimentales en Araya y Coche, promovida por Copenhagen

Pectin A/S.

- Primer taller internacional de cultivo y biotecnología de algas marinas (Cumaná, 2-5 diciembre 1996), para el diagnóstico, situación y perspectiva sobre el cultivo de algas en Venezuela.
- Actividades de información y promoción del cultivo de algas marinas con entes gubernamentales y de investigación (CONICIT, Ministerio de Agricultura y Cría, FUNDACITE, Fundación La Salle y Universidad de Oriente).
- Inicio del proyecto: cultivo intensivo de *G. tenuifrons* y las carragenofitas exóticas *K. alvarezzi* y *E. denticulatum* en la península de Araya, estado Sucre (Empresa BIOTECMAR).
- Cultivo experimental de *Gracilaria dentata* y *G. tenuifrons* en Margarita, Nueva Esparta.
- Se estudia un polisacárido semejante al agar del alga *Bostrychia moritziana* del estado Sucre, la cual tolera amplios rangos de salinidad.
- Estudios de ecología (epibiosis y factores que afectan el crecimiento), variación anual en el rendimiento y fuerza de gel, influencia del tratamiento alcalino y propiedades físicas del agar de *G. tenuifrons*.

2000-2005

- Evaluación de la dispersión de *K. alvarezzi* desde sus áreas de introducción y cultivo.
- Disolución de la compañía BIOTECMAR.
- Estudios sobre la fenología y ciclo de vida de *G. tenuifrons*.
- Reología, ciclos de vida y fenología de especies productoras de agar en el litoral central de Venezuela.

2005-2010

- Estudios sobre el impacto del alga *K. alvarezzi* en arrecifes coralinos de isla Cubagua.
- Rendimiento del agar de *G. serrulatum* del estado Sucre.
- Se crea la Asociación Acuicultora Granja La Vega en el estado Sucre para cultivar y producir harina de *G. tenuifrons* para consumo animal y producción de agar (Financiamiento gubernamental, proyecto de desarrollo endógeno).

2010-2015

- Estudios de la ocurrencia y aprovechamiento de arribazones de macroalgas marinas en la Isla de Margarita.
- Se estudian los polisacáridos de *Laurencia filiformis* y *L. obtusa* del estado Falcón.
- Durante el II Foro-Taller de Acuicultura del estado Sucre-Cumaná 500 años, se promueve la algacultura basada en algas autóctonas, con énfasis en el cultivo de *G. tenuifrons*, bautizada como "Pelillo Caribe" con fines comerciales y para diferenciar el recurso del "Pelillo", macroalga de morfología similar cultivada en el Pacífico Sur.

2015-2023

- Reología de *Gracilaria domingensis* y *Gracilariopsis hommersandii* colectadas en el estado Falcón.
- Evaluación del crecimiento de *Euchematopsis isiformis* en cultivos suspendidos en isla Cubagua.
- La crisis económica propicia la exportación de *K. alvarezzi* proveniente de arribazones en la isla de Margarita.
- Se promueve el cultivo de *K. alvarezzi* sin las medidas ambientales adecuadas ni reglamentación gubernamental en Nueva Esparta.
- Se crean empresas como Agromarina Biorma Acuaculture, Tide, Biomarina, Revolution

Seaweed, Korven, Funpes Mar, Fundema y otras, dedicadas a la formulación, promoción y desarrollo de proyectos de cultivo de algas en el estado Nueva Esparta.

- El Centro Nacional de Investigación de Pesca y Acuicultura (CENIPA SUCRE) dictó un taller de cultivo del alga "Pelillo Caribe" en una comunidad pesquera del norte de la Península de Araya, estado Sucre.
 - El Ministerio del Poder Popular de Pesca y Acuicultura sancionó una ley que reglamenta el aprovechamiento y cultivo de macroalgas en Venezuela.
 - Las algas marinas se constituyen en el tercer rubro no tradicional de exportación en Venezuela.
-

DISCUSION

Los primeros estudios con fines de explotar comercialmente las algas se basaron en unas pocas especies productoras de agar, efectuándose las primeras prospecciones en el estado Falcón (Foldats, 1980) y los estados Sucre y Nueva Esparta (Lemus y Aponte, 1987). Las características de los bancos de algas con especies de interés comercial, como son su reducida extensión, crecimiento en áreas de difícil acceso, la presencia de organismos asociados (fauna y algas epifitas), gran heterogeneidad espacial, marcada estacionalidad y conflictos legales para su extracción por estar en áreas protegidas, complicaron la explotación, además se consideró su importancia ecológica por encontrarse en lugares de elevada biodiversidad.

Velásquez *et al.* (1988) efectuaron estudios bien detallados de la ecología, taxonomía, reología y potencial reproductivo del alga agarofita *P. capillacea* en el estado Sucre, considerando que su aprovechamiento no era viable a largo plazo por la reducida extensión de los bancos, proponiendo su empleo como fuente de material para cultivos.

Las necesidades de ficocoloides de la industria nacional son cubiertas por importaciones que representan un importante monto en divisas, como lo muestran las estadísticas de importación de ácido algínico y agar entre 1978 y 1987 (Ganesan, 1989), lo que propició algunos intentos de procesar algas cosechadas de bancos naturales en el país. De las 18 macroalgas a las que se le han efectuado estudios reológicos y del rendimiento de los geles en Venezuela, es probable que se puedan explotar de forma controlada algunas especies

silvestres mediante un buen estudio de manejo del recurso con un mínimo de afectación ambiental.

En la ciudad de Cumaná (estado Sucre) se instaló la primera planta piloto para la producción de agar en Venezuela (Geles del Caribe, GELCA C.A.) en el año 1986 (Balladares, 2023). En principio se procesaron algas silvestres, pero la dificultad para conseguir suficiente materia prima, los costos de extracción de sus áreas naturales y transporte, además del mal procesamiento en cuanto a la limpieza, secado y almacenamiento de las algas, generó ingresos económicos poco estimulantes para los cosechadores, causando el declive de esta primera fase de la explotación del recurso. Esta situación propició el desarrollo de cultivos para suplir la materia prima necesaria para la producción de agar.

Se destacaron unas pocas especies prometedoras para ser cultivadas, a nivel experimental se evaluaron a *G. debilis* en Falcón (Rincones, 1989) y a *G. tenuifrons* en Sucre, resaltando esta última por sus facilidades de manejo, rápido crecimiento, buen rendimiento y calidad del agar obtenido, lográndose un exitoso paquete tecnológico para su cultivo (Lemus, 1992; Racca et al., 1993). La calidad de los geles obtenidos de *G. tenuifrons*, con máximos valores de fuerza de gel de 831 g/cm² (Brito y Lemus, 1998), superan los rangos de agares comerciales que van de 400 a 600 g/cm² (Hurtado-Ponce, 1994). Las variaciones en las concentraciones de nutrientes como el amonio no afectaron de forma significativa la tasa de crecimiento diario, el rendimiento, la fuerza, ni el punto de fusión y gelificación del agar de *G. tenuifrons* en cultivos experimentales en estanques realizados en el estado Sucre (Lemus et al., 2023).

A pesar de que *G. tenuifrons* es una especie prometedora para establecer cultivos viables comercialmente, una combinación de factores afectó el desarrollo de los mismos, como problemas relacionados con la epibiosis y herbivoría del alga (Barrios, 1998; Balladares, 2023), que disminuían la calidad del alga, además de problemas de transporte de las algas hacia los centros de procesamiento y poca rentabilidad de la venta de la biomasa cosechada debido a las variaciones en los precios de exportación y la depreciación de la moneda local versus el dólar.

En el año 1996, se cultivaron las carragenofitas *K. alvarezii* y *E. denticulatum* en la península de Araya (estado Sucre) e isla de Coche (estado Nueva Esparta) por la empresa BIOTECMAR, algas que fueron traídas desde el mar de Bohol, Filipinas (Rincones y Rubio, 1999; Rincones, 2000). Entre las numerosas especies de macroalgas introducidas en aguas tropicales a nivel mundial, la más exitosa es *K. alvarezii*, carragenofita de fácil propagación, manejo y con un elevado contenido de kappa-carragenina (Porse y Rudolph, 2017). Las algas cultivadas en Venezuela fueron exportadas hacia Francia y Dinamarca, sin embargo, la producción se decantó hacia el cultivo de *Kappahycus*, debido a los bajos precios internacionales de *E. denticulatum* (Smith y Rincones, 2006). La buena adaptación de *K. alvarezii* a las condiciones ambientales locales, con altas tasas de crecimiento que mostraron valores de incremento diario entre 4,5 y 7,0% (Smith y Rincones *op cit*), la baja incidencia de epibiosis y un buen perfil de mercadeo de las cosechas propiciaron el incremento de las áreas a ser cultivadas.

La introducción de macroalgas con fines de cultivo es una práctica común que está pautada por los requerimientos de la industria mundial de ficocoloides, a pesar de que la translocación de especies no está exenta de riesgos por los impactos ambientales que pueden causar las introducciones, prevalecen los criterios de tipo económico. La controversia generada en Venezuela por el potencial invasivo de *K. alvarezii*, el cual se dispersó y estableció en arrecifes coralinos (Barrios, 2005; Barrios *et al.*, 2007; Barrios *et al.*, 2021), fue el primer obstáculo para el establecimiento de cultivos de esta especie, llegando a prohibir su siembra en el país.

La presencia de importantes cantidades de esta especie en arribazones en el estado Nueva Esparta, muchos años después de su introducción, junto a la necesidad de buscar nuevas fuentes de ingresos, han propiciado el nacimiento de empresas para exportar algas desde el año 2019, las cuales comenzaron con algas colectadas del ambiente, para luego iniciar cultivos con la finalidad de mantener una biomasa comercializable con el tiempo.

En la actualidad se puede considerar a *K. alvarezii* como una especie introducida naturalizada que se encuentra creciendo de manera silvestre en la zona marina sur-oeste del estado Nueva Esparta, incluyendo las islas Coche y

Cubagua. Pérez *et al.* (2007) indican que numerosas especies consideradas cosmopolitas son realmente introducciones muy antiguas, por lo que carece de sentido asumir una posición extremista hacia el aprovechamiento de las especies exóticas que ya están presentes en un ecosistema, haciéndose necesario evaluar el impacto que tienen estas especies sobre el entorno, establecer medidas para controlar las amenazas para el ambiente y estudiar con mucho detenimiento cualquier introducción futura (Ehemann *et al.*, 2017).

Más recientemente, el alga *E. isiforme*, productora de Iota-carragenina, ha sido evaluada experimentalmente en cultivos en la isla de Cubagua (estado Nueva Esparta), mostrando un potencial para establecer cultivos masivos (Montoya *et al.*, 2020), esta especie ha sido cultivada con buenos resultados en otras regiones del Caribe (Smith y Renardh, 2002).

La experiencia con cultivos de macroalgas en Venezuela ha mostrado que la región nororiental es la más prometedora para establecer este tipo de actividad debido a la existencia de áreas costeras protegidas y a que sus aguas están naturalmente enriquecidas por el fenómeno de surgencia (Gómez, 1996).

Con respecto a los métodos de cultivo de *G. tenuifrons*, *K. alvarezii*, *E. denticulatum* y *E. isiforme*, estos se establecieron en aguas abiertas usando long-line horizontales y balsas (en zonas con profundidades que van de 3 a 6 metros); las balsas, ancladas al fondo, consistieron en marcos de bambú o tubos de PVC con flotadores y cuerdas de polipropileno como medio de sujeción de los implantes. Para aguas someras se emplearon sistemas de cuerdas y estacas sobre el lecho marino; los cultivos en estanques no han sido ensayados por los altos costos en infraestructura y manejo (Rincones *et al.*, 1992; Racca *et al.*, 1993; Rincones, 2000; Montoya *et al.*, 2020).

Uno de los mayores retos que enfrentaba la algacultura en Venezuela era la ausencia de normativas y una legislación adecuada para el desarrollo del área, sin embargo a finales de 2023 se sancionó una serie de leyes que norman la explotación de las macroalgas provenientes de bancos naturales y el cultivo de especies locales y foráneas, lo cual es producto de un largo proceso de evaluación y consultas abiertas de entes gubernamentales nacionales y

estadales, centros de investigación y la empresa privada (Gaceta de la República Bolivariana de Venezuela, 2023).

La valiosa experiencia acumulada en estos años de investigación y ensayos de cultivo de macroalgas en Venezuela se puede enfocar en un proceso que combine equilibrio ambiental y desarrollo de la actividad, vislumbrándose como una alternativa para mejorar la vida de las comunidades de pescadores que hacen vida en la zona costera, representando además un potencial para el establecimiento de una industria de ficocoloides que agregue valor a la producción de especies gelofitas en el país.

CONCLUSIONES

El estudio de las macroalgas productoras de geles de interés comercial en Venezuela en los últimos 40 años ha generado un cúmulo de información de gran valor estratégico para el aprovechamiento del recurso, evaluándose un total de 23 especies de macroalgas. Las especies para las cuales existe un paquete tecnológico de bajo costo con un mercado de exportación seguro son la carragenofita exótica *K. alvarezii* y la agarofita autóctona *G. tenuifrons*. La región nororiental de Venezuela es la más prometedora para la instalación de cultivos de macroalgas por sus características ambientales y geográficas.

REFERENCIAS

- Aponte M. (1987). Localización de algunos bancos de agarofitas de los estados Sucre y Nueva Esparta, reconocimiento de las especies y características de los agares obtenidos de las mismas. Informe Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente – CONICIT. Cumaná, Venezuela. 73 pp.
- Aponte-Díaz M., Lemus A. (1989). Comparative study of the agar obtained from three species of *Gracilaria* feasible for culture in Venezuela. En: Proceedings of the Workshop on "Cultivation of Seaweeds in Latin America". Oliveira E.C., Kautsky N. (eds). International Foundation for Science, Universidad de Sao Paulo. S. Sebastião, Brazil (abril 1989). pp. 117-119.

- Ardito S. (2001). Estudio del potencial reproductivo de *Gelidium serrulatum* J. Agardh (Rhodophyta, Gelidiales) y de la calidad del agar extraído de las diferentes fases del ciclo de vida. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 147 pp.
- Ardito S., Gómez S. (2005). Patrón fenológico de una población de *Gelidium serrulatum* J. Agardh (Rhodophyta, Gelidiales) en la localidad de Taguao, estado Vargas, Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*, 28(1): 101-111.
- Ardito S. (2007). Variación temporal por fase reproductiva en las propiedades del agar de *Gelidium serrulatum* J. Agardh (Rhodophyta, Gelidiales) y aplicabilidad del mismo como cultivo bacteriológico. Trabajo de Ascenso. Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. 78 pp.
- Ardito S., Torquati E., Valbuena O. (2007). Aplicabilidad del agar de *Gelidium serrulatum* (Rhodophyta, Gelidiales) como medio de cultivo bacteriológico. XVII Congreso Venezolano de Botánica, Maracaibo, Venezuela (mayo 2007). pp. 696-698.
- Arellano R. (1989). Estudio de algunos bancos de *Sargassum* (Fucales, Phaeophyta) como productores de alginatos en la isla de Margarita. Tesis de pregrado, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 51 pp.
- Balladares C., Racca E., Dawes C. (1995). Seasonal feeding behaviour of the fish *Hyporhamphus unifasciatus* grazing on *Gracilaria* farms in Venezuela. XVth International Seaweed Symposium. pp. 50.
- Balladares C. (2023). Geles del Caribe (GELCA) C.A., una empresa de macroalgas en Venezuela. Orígenes y desarrollo. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 46 (2): 147-152.
- Barrios J. (1998). Estudio de la epibiosis en cultivos experimentales de *Gracilariopsis tenuifrons* (Gracilariales, Rhodophyta) en Chacopata, estado Sucre, Venezuela. Tesis de postgrado en Ciencias Marinas. Universidad de Oriente, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Cumaná, Venezuela. 65 pp.

- Barrios J. (1999) Estructura y dinámica de comunidades asociadas a cultivos de *Gracilariopsis tenuifrons* (Rhodophyta) en Chacopata, estado Sucre, Venezuela. II reunión Asociación Laboratorios Marinos del Caribe (ALMC), Cumaná, Venezuela (julio 1999). pp. 77.
- Barrios J. (2005). Dispersión del alga exótica *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales: Rhodophyta) en la región nororiental de Venezuela. Boletín del Instituto Oceanográfico del Venezuela, 44: 29–34.
- Barrios J., Bolaños J., López R. (2007). Blanqueamiento de arrecifes coralinos por la invasión de *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) en isla Cubagua, estado Nueva Esparta, Venezuela. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 46 (2): 147-152.
- Barrios-Montilla J., Ruiz-Allais J.P., Amaro M.E. (2021). Interacciones alga-coral en arrecifes coralinos invadidos por *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) en isla Cubagua, estado Nueva Esparta, Venezuela. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 60 (1): 17-31.
- Bellorín A., Lemus A. (1997). Efecto de la temperatura y la irradiancia en el crecimiento *in vitro* del alga *Gracilariopsis tenuifrons* (Bird et Oliveira) Fredericq et Hommersand (Gracilariales, Rhodophyta). Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 26 (1-2): 61-67.
- Blanco F. (1991). Estudio de dos bancos de *Gracilaria* Greville (Gracilariales, Rhodophyta) en las adyacencias de la ciudad de Carúpano, estado Sucre, con fines de producción de agar. Tesis de pregrado, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 46 pp.
- Brito L., Lemus A. (1996). Rendimiento y consistencia del agar de *Gracilaria damaecornis* J. Agardh (Gracilariales: Rhodophyta). Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 35(1- 2): 57-62.
- Brito L., Lemus A. (1998). Variación anual en el rendimiento y fuerza de gel del agar de *Gracilariopsis tenuifrons* (Bird et Oliveira) Fredericq et Hommersand de

la Península de Araya, Venezuela. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 37(1-2):75-80.

Brito L. (2000). Influencia del tratamiento alcalino sobre el agar de *Gracilariopsis tenuifrons* (Gracilariales: Rhodophyta). Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 39(1-2):67-70.

Brito L., Silva S. (2004). Fases reproductivas de *Gracilaria damaecornis* J. Agardh (Gracilariaceae: Rhodophyta). Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 43(1-2):33-36.

Brito L., Silva S. (2005). Fenología y ciclo de vida del alga *Gracilariopsis tenuifrons* (Gracilariaceae) en Sucre, Venezuela. Revista de Biología Tropical, 53 (Suppl. 1): 67-73.

Brito L., Segnini M., Silva S. (2007). Evaluación del agar del alga *Gracilaria cervicornis* (Gracilariales, Rhodophyta) del estado Sucre, Venezuela. XII Congreso Latino-americano de Ciências do Mar - XII COLACMAR. Florianopolis, Brasil (abril 2007). pp. 3.

Brito L. Silva S. (2007). Extracción del agar de *Gelidium serrulatum* J. Agardh (Gelidiales, Rhodophyta) en el estado Sucre, Venezuela. XVII Congreso Venezolano de Botánica, Maracaibo, Venezuela (mayo 2007). pp. 235-237.

Canelón D., Ciancia M., Suárez A., Compagnone R, Matulewicz M. (2014). Structure of highly substituted agarans from the red seaweeds *Laurencia obtusa* and *Laurencia filiformis*. Carbohydrate Polymers, 101:705-713.

Chiquin A., Kodaira M. (1999). Efecto del tratamiento ácido sobre las características del agar extraído de *Gracilaria* sp. Memorias del Instituto de Biología Experimental. 2: 183-186.

Dawes C. (1995). Suspended cultivation of *Gracilaria* in the sea. Journal Applied Phycology, 7:303-313. <https://doi.org/10.1007/BF00004004>

- Díaz-Piferrer M. (1967). Los recursos marinos de Venezuela. Algas marinas de importancia económica. *El Farol*, 222: 18-22.
- Duarte V. (1995). Aspectos biológicos y características del agar de *Gracilaria domingensis* (Kützing) Sonder ex Dickie (Gracilariaceae, Rhodophyta) en el Oriente de Venezuela. Tesis de Pregrado, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 80 pp.
- Ehemann N., Escorcía R., Figueredo A., Renata A. (2017). Contribución al conocimiento de la situación actual de las especies introducidas en el estado Nueva Esparta, Venezuela, con una propuesta para su manejo integral. En: Gestión de la diversidad biológica en Nueva Esparta. 5^{ta} línea estratégica. Nass P., Torres-Sorando L. (eds.). Edit. Ciencia Espartana. pp. 94-117.
- FAO (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Food and agriculture organization of the United Nations, Roma. 243 pp. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Foldats E. (1980). Estudio de la variación del agar en *Gracilaria dominguensis*, *G. debilis* y *Gelidiella acerosa*, y los preparativos para la exportación de dichas algas. Informe final proyecto CONICIT-UCV. Venezuela.
- Gaceta de la República Bolivariana de Venezuela. (2023). Resolución mediante la cual se regula el aprovechamiento, cultivo y actividades conexas de las especies de algas y cianobacterias para su desarrollo sustentable y sostenibilidad, en la República Bolivariana de Venezuela. Ministerios del Poder Popular de Pesca y la Acuicultura, y el Ecosocialismo. Gaceta N.º 462.964 del 28 de diciembre de 2023.
- Ganesan E. (1989). Taxonomy of the economically important seaweeds of Venezuela: I *Gracilaria*: *G. lacinulata* (Valh) Howe prox. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 28 (1-2): 85-97.
- Gómez A. (1996). Causas de la fertilidad marina en el nororiente de Venezuela. *Interciencia*, 21(3): 140-145.

- Guevara G., Palma H. (1986). Contenido de alginato en dos especies de algas Phaeophyta *Padina gymnospora* (Kützinger) Vickers y *Sargassum filipendula* C. Agardh, de las costas de la isla de Margarita, Venezuela. Contribuciones de la Estación de Investigaciones Marinas, Fundación La Salle de Ciencias Naturales, 110: 9-27.
- Guiry M., Guiry G. (2023). Algaebase.org. Publicación electrónica. National University of Ireland, Galway. Disponible en <https://www.algaebase.org> (Consultado diciembre 2023).
- Huérfino A. (1998). Aspectos sobre la biología poblacional, citogenética experimental y cultivo bajo condiciones controladas de la agarofita *Pterocladia capillaceae*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 208 pp.
- Huérfino A. (2007). Estructuras de talla reproductiva de *Gelidium serrulatum* J. Agardh y *Pterocladiaella capillacea* (S.G. Gmel.) Santel. y Hommers. (Gelidiales, Rhodophyta) presentes en la costa central de Venezuela. XVII Congreso Venezolano de Botánica, Maracaibo, Venezuela (mayo 2007). pp. 310-312.
- Hurtado-Ponce A. (1994). Agar production from *Gracilariopsis heteroclada* grown at different salinity levels. *Botanica Marina*, 37:97-100.
- Kapraun D., Freshwater D. (1987). Karyological studies of five species of *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta) from the North Atlantic and Mediterranean. *Phycologia*, 26(1): 82-87.
- Kapraun D., Lemus A. (1987). Field and culture studies of *Porphyra spiralis* var. *amplifolia* Oliveira Filho et Coll (Bangiales, Rhodophyta) from Isla de Margarita, Venezuela. *Botanica Marina*, 30: 483-490.
- Kapraun D., Hinson T., Lemus A. (1991). Karyology and cytophotometric estimation of inter-and intraspecific nuclear DNA variation in four species of *Porphyra* (Rhodophyta). *Phycologia*, 30(5): 458-466.

- Kapraun D., Dutcher J., Freshwater D. (1993). Quantification and characterization of nuclear genomes in commercial red seaweeds: Gracilariales and Gelidiales. *Hydrobiologia* 260/261: 679-688.
- Lemus A., Aponte-Díaz M. (1987). Estudio de biomasa y regeneración en algunos bancos naturales de agarófitas en el oriente de Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 26(1-2): 37-44.
- Lemus A., Aponte-Díaz M. (1988). Rendimiento y consistencia del agar de *Pterocladia capillacea* (Gmelin) Bornet y Thuret y *Gelidium serrulatum* J. Agardh de las costas orientales de Venezuela. *Memorias de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*, 48(1): 35-45.
- Lemus A., Bird K., Kapraun D., Koehn F. (1991). Agar yield, quality and standing crop biomass of *Gelidium serrulatum*, *Gelidium floridanum* and *Pterocladia capillacea* in Venezuela. *Food Hydrocolloids*, 5(5): 469-479. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(09\)80105-7](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(09)80105-7)
- Lemus A. (1992). Ensayos de cultivo de la agarofita *Gracilariopsis tenuifrons* Fredericq et Hommersand (Bird et Oliveira) (Rhodophyta) en el oriente de Venezuela. *Memorias VII Simposio Latinoamericano de Acuicultura*, Barquisimeto. pp 140-148.
- Lemus A., Gómez M. (1995). Estimación de la biomasa en un banco de *Gelidium serrulatum* J. Agardh (Gelidiaceae Rhodophyta), en la isla de Margarita, Venezuela. *Saber*, 7(2): 19-23.
- Lemus S., Lemus A., Lemus A. (2023). Características del agar de *Gracilariopsis tenuifrons* (Bird y Oliveira) Fredericq y Hommersand (Gracilariales, Rhodophyta) sometida a diferentes concentraciones de amonio. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 26(1-2): 37-44.
- León N. (1990). Extracción y evaluación de carragenina de la especie *Hypnea musciformis* (Rhodophyta). Tesis de Pregrado, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 92 pp.

- Loayza R., Lemus A. (1994). Fases de desarrollo *in vitro* del alga agarofita *Gelidium serrulatum* J. Agardh (Gelidiales, Rhodophyta). Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 33(1-2): 49-58.
- Montoya E., García Y., Lira C. (2017). Usos y aplicaciones de las macroalgas marinas: una revisión. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 56(2): 89-101.
- Montoya E., Rosas J., Rincones R., Narváez J. (2020). Evaluación del crecimiento de *Euचेuma isiforme* (Rhodophyta, Gigartinales) en sistemas de cultivo suspendidos en la isla de Cubagua, Venezuela (sureste del Mar Caribe). AquaTechnica, 2(2): 86-98.
- Palma H., Muñoz O., Guevara G., Salazar J. (1987). Estudio preliminar del contenido de agar de dos especies de algas rojas (Rhodophyta) *Gracilaria domingensis* Sonder e *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux, de las costas de la isla de Margarita, Venezuela. Memorias de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle, 37(127-128): 7-23.
- Pérez, J., Alfonsi C., Salazar S., Macsotay O., Barrios J., Martínez R. (2007). Especies marinas exóticas y criptogénicas en las costas de Venezuela. Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 46(1): 79-96.
- Porse H., Rudolph B. (2017). The seaweed hydrocolloid industry: 2016 updates, requirements, and outlook. Journal of Applied Phycology. 29: 2187-2200. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1144-0>
- Quintero M., Martínez J., Maldonado C., Leañez J., Duno D. (2020). Efecto de los tratamientos alcalino y de oscuridad-salinidad en agar de *Gracilaria domingensis*. Avances en Química, 15(2): 5-40.
- Racca E. (1966). Estudio sobre la explotación industrial de las algas agarofitas de las costas del norte del estado Falcón, Península de Paraguaná. Tesis de Pregrado, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 54 pp.

- Racca E., Hurtado R., Dawes C., Balladares C., Rubio J. (1993). Desarrollo de cultivo de *Gracilaria* en la península de Araya (Venezuela). En: FAO. Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en América Latina y el Caribe. Zertuche J.A. (ed.). Documento de campo 13, México. Proyecto Aquila II, Programa cooperativo gubernamental, Italia. FAO. GPC/RLA/102/ITA. pp. 39-46.
- Reyna J. (1991). Composición química y propiedades reológicas de agares de tres especies de algas del género *Gracilaria* (*Gracilaria verrucosa* prox., *G. domingensis* y *G. cervicornis*) colectadas en la Península de Araya, estado Sucre. Trabajo de Pregrado, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 147 pp.
- Rincones R.E. (1989). Experimental cultivation of an agarophyte alga: *Gracilaria debilis* (Gigartinales, Rhodophyta) in the northwest coast of Venezuela. En: Proceedings of the Workshop on "Cultivation of Seaweeds in Latin America". Oliveira E.C., Kautsky N. (eds). International Foundation for Science, Universidad de Sao Paulo. S. Sebastião, Brazil (abril 1989). pp. 65-67.
- Rincones R., Rubio J., Racca E. (1992). *Gracilaria* pilot farming in Venezuela. En: Mshigeni K., Bolton J., Critchley A., Kiangi G. (eds.). Sustainable seaweed resource development in sub-Saharan Africa. University of Namibia, Windhoek. pp. 309-318.
- Rincones R., Yu S., Pedersen M. (1993). Effects of dark treatment on the starch degradation and the agar quality of cultivated *Gracilariopsis lemaneiformis* (Rhodophyta, Gracilariales) from Venezuela. *Hidrobiologia*, 260/261: 633-640.
- Rincones R., Rubio J. (1999). Introduction and commercial cultivation of the red alga *Euचेuma* in Venezuela for the production of phycocolloids. *World Aquaculture*, 30(2): 57-61.
- Rincones, R.E. (2000). Marine agronomy: A sustainable alternative for coastal communities in developing countries. *Global Aquaculture Advocate*, 3:7 0-72.

- Rodríguez R., Canelón D., Cosenza V., Fissore E., Gerschenson L., Matulewicz M., Ciancia M. (2019). *Gracilariopsis hommersandii*, a red seaweed, source of agar and sulfated polysaccharides with unusual structures. *Carbohydrates Polymeros*. 213: 138-146.
- Smith A., Renard Y. (2002). Seaweed cultivation as a livelihood in Caribbean coastal communities. ICRI Regional Workshop for the Tropical Americas: Improving reefs condition through strategic partnerships. CANARI Comm. 309. Cancún, México (junio 2002). 8 pp.
- Smith A., Rincones R. (2006). Seaweed resources of the Caribbean. En: Critchley A., Ohno M., Largo. D. (eds). *World Seaweed Resources: An authoritative reference system [DVD-ROM]*. University of the Netherlands. 1-14 pp.
- Velásquez A., Ganesan E., Bonilla J. (1988). Field and laboratory studies in the agarophyte *Pterocladia capillacea* (S. G. Gmelin) Burnet y Thuret (Gelidiacea, Rhodophyta) from Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 27(1-2): 3-24.
- Vincenti M. (2010). Información geográfica, biomasa y calidad de agar producido por *Gracilariopsis hommersandii* (Gracilariales, Rhodophyta) en un banco natural de la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. Tesis de Pregrado, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. 78 pp.
- Youngs H., Grets M., West J., Sommerfeld M. (1998). The cell walls chemistry of *Bangia atropurpurea* (Bangiales, Rhodophyta) and *Bostrychia moritziana* (Ceramiales, Rhodophyta) from marine and freshwater environments. *Phycological Research*, 46: 63-73.
- Zecchin E., Brito L., Lárez G. (2000). Propiedades físicas del agar de *Gracilariopsis tenuifrons* (Gracilariaceae) en Sucre, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 48(1): 193-197.