

SEVEN

PUBLICAÇÕES ACADÊMICAS
2024



**EL GÉNERO *KAPPAPHYCUS DOTY*
(*RHODOPHYTA, GIGARTINALES*)**

**UN ESTUDIO DE CASO EN LA
PLATAFORMA INSULAR CUBANA I**

Ruben Cabrera
Arsenio J. Areces
Jhoana Díaz-Larrea

SEVEN

PUBLICAÇÕES ACADÊMICAS
2024



**EL GÉNERO *KAPPAPHYCUS DOTY*
(*RHODOPHYTA, GIGARTINALES*)**

**UN ESTUDIO DE CASO EN LA
PLATAFORMA INSULAR CUBANA I**

Ruben Cabrera
Arsenio J. Areces
Jhoana Díaz-Larrea

REDACTOR JEFE

Prof. Me Isabele de Souza Carvalho

EDITOR EJECUTIVO

Nathan Albano Valente

ORGANIZADORES DE LIBROS

Ruben Cabrera

Arsenio J. Areces

Jhoana Díaz-Larrea

2024 por Seven Editora

Copyright © Seven Editora

Copyright del texto © 2024 Os Autores

Copyright de la Edición © 2024 Seven Editora

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Seven Publicações Ltda

EDICIÓN DE ARTE

Alan Ferreira de Moraes

EDICIÓN DE TEXTO

Natan Bones Petitemberte

BIBLIOTECA

Tábata Alves da Silva

IMÁGENES DE PORTADA

Ruben Cabrera

ÁREA DE CONOCIMIENTO

Ciencias Biológicas

El contenido del texto y su forma, corrección y fiabilidad son responsabilidad exclusiva de los autores y no representan necesariamente la posición oficial de Seven Publicações Ltda.. El trabajo puede ser descargado y compartido siempre que se dé crédito a los autores, pero sin posibilidad de alterarlo de ninguna manera o utilizarlo con fines comerciales.

Todos los manuscritos fueron sometidos previamente a revisión ciega por pares por miembros del Consejo Editorial de esta editorial, y fueron aprobados para su publicación con base en criterios de neutralidad e imparcialidad académica.

Seven Publicações Ltda se compromete a garantizar la integridad editorial en todas las etapas del proceso de publicación, evitando plagios, datos o resultados fraudulentos e impidiendo que intereses financieros comprometan las normas éticas de publicación.

Las situaciones sospechosas de mala conducta científica serán investigadas bajo los más altos estándares de rigor académico y ético.



El contenido de este Libro ha sido enviado por los autores para su publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional

CONSEJO EDITORIAL

REDACTOR JEFE

Profº Me. Isabele de Souza Carvalho

CONSEJO EDITORIAL

Pedro Henrique Ferreira Marçal. Vale do Rio Doce University
Adriana Barni Truccolo- State University of Rio Grande do Sul
Marcos Garcia Costa Morais- State University of Paraíba
Mônica Maria de Almeida Brainer - Federal Institute of Goiás Campus Ceres
Caio Vinicius Efigenio Formiga - Pontifical Catholic University of Goiás
Egas José Armando - Eduardo Mondlane University of Mozambique
Ariane Fernandes da Conceição- Federal University of Triângulo Mineiro
Wanderson Santos de Farias - Universidad de Desarrollo Sustentable
Maria Gorete Valus -University of Campinas
Luiz Gonzaga Lapa Junior- Universidade de Brasília
Janyel Trevisol- Universidade Federal de Santa Maria
Irlane Maia de Oliveira- Universidade Federal de Mato Grosso
Paulo Roberto Duailibe Monteiro- Universidade Federal Fluminense
Luiz Gonzaga Lapa Junior- Universidade de Brasília
Janyel Trevisol- Universidade Federal de Santa Maria
Yuni Saputri M.A- Universidade de Nalanda, Índia
Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí, CEAD

Catalogación Internacional en Datos de Publicación (CIP)
(Cámara Brasileira del Libro, SP, Brasil)

El género Kappaphycus Doty (Rhodophyta, gigartinales) [livro eletrônico] : un estudio de caso en la plataforma insular cubana I / organização Ruben Cabrera, Arsenio J. Areces, Jhoana Díaz-Larrea. -- São José dos Pinhais, PR : Seven Editora, 2024.
PDF

Vários autores.
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-85932-06-6

1. Algas marinhas - Cultura e meios de cultura
2. Biologia marinha I. Cabrera, Ruben. II. Areces, Arsenio J. III. Díaz-Larrea, Jhoana.

24-192542

CDD-578.773

Índices para el catálogo sistemático:

1. Biologia marinha 578.773

Tábata Alves da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9253

DOI: 10.56238/livrosindi202407-

Seven Publicações Ltda
CNPJ: 43.789.355/0001-14
editora@sevenevents.com.br
São José dos Pinhais/PR

DECLARACIÓN DEL AUTOR

El autor de este trabajo DECLARA, a los efectos siguientes, que:

No tiene ningún interés comercial que genere un conflicto de intereses en relación con el contenido publicado;

Declara haber participado activamente en la elaboración de los respectivos manuscritos, preferentemente en las siguientes condiciones: "a) Diseño del estudio, y/o adquisición de datos, y/o análisis e interpretación de los datos; b) Elaboración del artículo o revisión para que el material sea intelectualmente relevante; c) Aprobación final del manuscrito para su presentación";

Certifica que el texto publicado está completamente libre de datos y/o resultados fraudulentos y defectos de autoría;

Confirma la correcta citación y referenciación de todos los datos e interpretaciones de datos de otras investigaciones.
investigación;

Reconoce haber informado a todas las fuentes de financiación recibidas para llevar a cabo la investigación;

Autoriza la publicación de la obra, incluyendo registros en catálogo, ISBN, DOI y otros indexadores, diseño visual y creación de la portada, maquetación interna, así como su lanzamiento y difusión de acuerdo con los criterios de Seven Eventos Acadêmicos e Editora.

DECLARACIÓN DEL EDITOR

Seven Publicações DECLARA, a efectos de derechos, deberes y cualquier trascendencia metodológica o jurídica, que:

La presente publicación constituye sólo una cesión temporal de derechos de autor, constituyendo un derecho de publicación y reproducción de los materiales. La Editora no es solidariamente responsable por la creación de los manuscritos publicados, en los términos establecidos en la Ley de Derecho de Autor (Ley 9610/98), art. 184 del Código Penal y art. 927 del Código Civil; El/los autor/es son exclusivamente responsables por la verificación de tales derechos de autor y demás cuestiones, eximiendo a la Editora de los daños civiles, administrativos y penales que puedan surgir.

Autoriza la DIVULGACIÓN DE LA OBRA por el/los autor/es en conferencias, cursos, eventos, espectáculos, medios de comunicación y televisión, siempre que haya el debido reconocimiento de autoría y edición y sin ningún fin comercial, con la presentación de los debidos CRÉDITOS a SIETE PUBLICACIONES, siendo el/los autor/es y editor/es responsables por la omisión/exclusión de esta información;

Todos los libros electrónicos son de acceso abierto, por lo que se ruega no venderlos en su sitio web, sitios asociados, plataformas de comercio electrónico o cualquier otro medio virtual o físico. Por lo tanto, está exento de cesión de derechos de autor a los autores, ya que el formato no genera más derechos que los fines didácticos y publicitarios de la obra, que puede ser consultada en cualquier momento.

Todos los miembros del consejo editorial son doctores y están vinculados a instituciones públicas de enseñanza superior, como recomienda la CAPES para obtener la condición de libro Qualis; Seven Eventos Acadêmicos no cede, vende o autoriza el uso de los nombres y correos electrónicos de los autores, o cualquier otro dato sobre ellos, para fines distintos de la difusión de esta obra, de conformidad con el Marco Civil da Internet, la Ley General de Protección de Datos y la Constitución de la República Federativa.

ORGANIZADORES DE EBOOKS



Ruben Cabrera

Biólogo de formación y maestro de ciencias por la Universidad de La Habana. Ha desarrollado su investigación en osteología de peces, mamíferos y reptiles autóctonos en contextos arqueológicos. También tiene experiencia en ecología, sistemática de algas marinas.

Orcid: 0000-0003-0089-1125



Arsenio J. Areces

A, José Areces is a marine biologist, master (eutrophication) and doctor in Biological Sciences (mariculture of agarophytes) from Havana University. Since 1970 till 2012 he worked as scientific leader of several departments of Instituto de Oceanology, formerly of Cuban Academy of Science and latter of Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, in the fields of marine ecology, hydrochemistry and applied phycology. From 2017 up to date, he works as senior researcher at Instituto de Geografía Tropical of Cuba in the fields of integrate coastal zone management, spatial planning, and marine and coastal landscape analysis. He received academic training in Sweden and Philippines, directed several doctorates and master thesis and acted as research collaborator, scientific advisor or professor in Mexico, Venezuela, United States of America and Brazil. He has published books and more than 100 papers.

Orcid: 0000-0001-9200-6271



Jhoana Díaz-Larrea

Licenciada en Biología y Máster en Biología Marina por la Universidad de La Habana, Cuba. Doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad Autónoma Metropolitana, México. Profesor-Investigador, Titular "C". T.C. del Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Perfil PRODEP dentro del Programa para el Desarrollo Profesional Docente, para el Tipo Superior. Líneas de Investigación que desarrolla: Ecología, Biología Marina, Biología molecular, Genética y Biología de la conservación. Ha participado en Proyectos nacionales e internacionales.

Orcid: 0000-0003-4290-0835


PRESENTACIÓN

La información brindada al lector en esta compilación de resultados constituyó el fruto del trabajo realizado durante más de 10 años, el cual se inició a comienzos de la última década del siglo XX. En el presente volumen se exponen las bases de su introducción, las experiencias en la obtención de carragenina, el papel del herbivorismo en diferentes zonas del ecosistema arrecifal y el efecto que la acción del pastoreo tiene sobre estas macroalgas. Cada capítulo presenta un problema y objetivos a cumplirse, así como una discusión en virtud de las nuevas tendencias de la acuicultura.

Por: Areces, A. & Cabrera, R.

SUMARIO


CAPÍTULO 1.....8

 10.56238/livrosindi202407-001

INTRODUCCIÓN GENERAL

Arsenio J. Areces, Mercedes Cano, Olga Valdés-Iglesias, Francisco Vicente Rodríguez Agramonte.


CAPÍTULO 2.....16

 10.56238/livrosindi202407-002

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL CARRAGENANO PRODUCIDO POR LAS ESPECIES DEL GÉNERO *Kappaphycus* DOTY CULTIVADAS EN AGUAS COSTERAS DEL NORTE DE CUBA

Olga Valdés-Iglesias, Mercedes Cano, Roberto Adrano Padrón, Cecilia Díaz Moore.


CAPÍTULO 3.....33

 10.56238/livrosindi202407-003

3 PAPEL DEL HERBIVORISMO ÍCTICO EN LA SUPERVIVENCIA DEL GÉNERO *Kappaphycus* (GIGARTINALES, RHODOPHYTA) EN EL ECOSISTEMA ARRECIFAL CARIBEÑO

Alejandro Serpa-Madrigal, Arsenio J. Areces, Ruben Cabrera, Jhoana Díaz-Larrea.



CAPÍTULO 4.....48

 10.56238/livrosindi202407-004

CAMBIOS MORFOLÓGICOS DE *Kappaphycus alvarezii* COMO ESTRATEGIA ADAPTATIVA ANTE LA PRESIÓN POR HERBIVORÍA ÍCTICA

Jhoana Díaz-Larrea, Miriam Vilaragut García, Mercedes Cano, Ricardo Cruz-Aviña.

INTRODUCCIÓN GENERAL

  10.56238/livrosindi202407-001

Arsenio J. Areces

Instituto de Geografía Tropical, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Municipio Playa, Ciudad Habana, Cuba

Mercedes Cano

Departamento de Biología Marina, Instituto de Oceanología, CITMA, La Habana, Cuba

Olga Valdés-Iglesias

Instituto de Ciencias del Mar (ICIMAR), Calle Loma, Alturas del Vedado, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba

Francisco Vicente Rodríguez Agramonte

Departamento de Biología Marina, Instituto de Oceanología, CITMA Ira Ave, La Habana, Cuba

Palabras-clave: Cultivo experimental, Introducción *Kappaphycu*.

1 INTRODUCCIÓN

La información brindada al lector en esta compilación de resultados constituyó el fruto del trabajo realizado durante más de 10 años, el cual se inició a comienzos de la última década del siglo XX. Fue llevado a cabo por un equipo multidisciplinario de investigadores y se realizó a diferentes escalas y con múltiples objetivos. Dicho equipo dispuso además de la participación de numerosos técnicos y estudiantes.

La ejecución de todas las tareas que fueron sucesivamente programadas para propagar en aguas del archipiélago cubano, algunos de los géneros más emblemáticos para la producción de carragenina en áreas tropicales, nunca dejó de realizarse de una manera entusiasta y siempre fue apoyada de un modo u otro mediante la colaboración de diversas instituciones nacionales. De este modo, a partir de un esquema flexible de acciones asociado a la información que iba siendo obtenida de manera paulatina en diversos lugares de la plataforma insular, resultó posible sentar las bases científicas para el cultivo de las especies comerciales del género *Kappaphycus* Doty, tanto en el Caribe occidental como en el sur del Golfo de México.

El mercado de las carrageninas está segmentado en tres tipos de gomas (Kappa, Iota y Lambda), cuyo uso se asocia mayoritariamente a las industrias alimenticia, farmacéutica y cosmética. Todas ellas se extraen de algas rojas cosechadas del medio natural o cultivadas en regiones del océano mundial distribuidas entre América del Norte y Sur, Europa, Asia-Pacífico, Medio Oriente y África. En la producción y comercialización global de estas gomas vegetales se estima un crecimiento de

más del 8 % anual (Zia *et al.*, 2017), pero todavía su procesamiento y venta es controlado por apenas unas cuantas grandes corporaciones.

De estas gomas, la kappa carragenina, por actuar como agente estabilizador, espesante, texturizante y gelificante, es la más usada en la industria alimenticia como aditivo alimentario regulado. Aunque puede extraerse de especies provenientes de varios géneros, gran parte de su producción la genera unos pocos representantes del género *Kappahycus* Doty, cuyo cultivo en el sudeste asiático se difundió durante el último tercio del siglo XX y estabilizó la obtención de biomasa. Ello permitió la creación de consorcios industriales en Filipinas e Indonesia para la extracción y comercialización del producto.

El cultivo de las especies del género, llevado a cabo solo en condiciones tropicales, se efectúa de manera extensiva mediante reproducción agámica (Rodgers & Cox, 1999). Con solo un dominio de naturaleza artesanal requerido para las operaciones de siembra, sus costos suelen recaer en la mano de obra, así como en insumos como monofilamento de nylon, varas de madera, cinta plástica y embarcaciones menores, haciéndose relativamente económica la inversión inicial. De este modo, la actividad suele generar casi siempre expectativas de desarrollo e inclusión laboral en la población de muchas comunidades costeras deprimidas económicamente (Ask *et al.*, 2003).

Con esta percepción inicial, también varias premisas y factores, tanto de carácter económico como ecológico, incidieron en la decisión del Ministerio de la Pesca de permitir a principios de 1991 la introducción y evaluación con fines comerciales en el archipiélago cubano, de tres especies cultivadas ya con mucho éxito: *Eucheuma denticulatum* (N. L. Burman) Collins & Hervey, *Kappahycus striatus* (F.Schmitz) L. M. Liao y algunas variedades de *K. alvarezii* Doty. Todas ellas representantes de los dos géneros de carragenófitas más importantes del Indopacífico; *Eucheuma* J. Agardh y *Kappahycus* Doty.

Entre los factores de carácter económico que constituyeron un acicate para esta decisión, cabría referir el escenario favorable para el desarrollo del país existente durante los dos primeros tercios de la década de los 80, los cuales constituyeron con mucha probabilidad la etapa de mayor bonanza económica en Cuba. La entrada del país en el Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME) en 1972, con las implicaciones que tuvo para la articulación de una subvención crediticia sistemática sustentada eufemísticamente en el denominado “*Intercambio Equivalente*”, y la profundización en el quinquenio 1981-1985 de la reforma económica iniciada en 1976 (García Molina, 2005), permitieron disponer de financiamiento para abordar numerosos programas de desarrollo. Tan solo por citar en este contexto al sector biotecnológico, considerado un motor del desarrollo cubano, su diversificación con la inauguración de instituciones como el Centro de Producción de Animales de Laboratorio (CENPALAB) y el Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) en 1982, el Centro de Ingeniería

Genética y Biotecnología (CIGB) en 1986, el Centro Nacional de Biopreparados (BioCen) en 1992 y finalmente el Centro de Inmunología Molecular (CIM) en 1994, produjo necesidades crecientes del uso de gomas vegetales con propiedades reológicas muy específicas y de alto precio en el mercado internacional. Además, generó conciencia acerca de la importancia que también tenía el producirlas en el país para otros sectores, entre ellos el de la industria alimenticia.

En cuanto a las premisas ecológicas, el debate acerca de cómo incrementar la productividad de la plataforma insular cubana, cuyas aguas en gran extensión eran a lo sumo mesotróficas (Loza *et al.*, 2007; Miravet *et al.*, 2009; Álamo *et al.*, 2013) y las conclusiones acerca de que en estas aguas la pesca no podría incrementarse a través de su fertilización (Areces y Bustamante, 1983 a, b) dieron pie a la concepción de alternativas como el maricultivo para aumentar su productividad.

Otras premisas ecológicas se relacionaron con el impacto sobre la biodiversidad y la productividad biológica que pudiera estar ocasionando la rápida salinización de bahías interiores de la plataforma (Alcolado, 1991), en virtud de la construcción de pedraplenes y del significativo represamiento de gran cantidad de ríos (INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS/CONSEJO DE MINISTROS, 1992), sin ser tomados en cuenta los gastos de flujo necesarios para asegurar los servicios ecológicos en zonas costeras, lo cual estaba dando lugar a la desaparición de muchas áreas polihalinas de gran productividad. Esta situación limitaba como recurso potencial el valor inherente al género *Gracilaria*, presente en muchas de estas áreas, con algunos de sus representantes ya cultivados a gran escala en otros países.

También, y como colofón a dicha situación, se especuló acerca de la pérdida de los nutrientes que aportaba a la plataforma insular la escorrentía remanente del proceso de contención de las aguas interiores de las dos mayores islas del archipiélago, Cuba e Isla de la Juventud. Debido a la contracción económica que sufrió el país a lo largo de la década de los 90 a causa de la desaparición del campo socialista, la producción y empleo de fertilizantes e insumos agrícolas se afectó notablemente, asociándose el hecho a una consecuente oligotrofización de la plataforma insular ocasionada por la disminución de los aportes de N, fenómeno sumariado por Baisre (2006).

En 1983 fue creada la Comisión Nacional de Maricultivo, patrocinada por el Ministerio de la Pesca, tomándose en cuenta estos supuestos y con el fin de incrementar mediante el cultivo, los rendimientos pesqueros de renglones con gran valor asociado, situación que estaba ya teniendo lugar en múltiples regiones del océano mundial en correspondencia con las sugerencias de la FAO. En el seno de dicha comisión fueron implementados diferentes grupos de trabajo y a causa de la poca experiencia en el país de este abordaje productivo, se coordinó la participación de instituciones científicas y docentes para atender retos de carácter técnico e involucrarse en la realización de ensayos con peces, esponjas, ostiones y macroalgas productoras de agar.

Así, en 1984 comenzó el estudio integral del género *Alsidium* (C. Agardh), particularmente de *Alsidium triquetrum* (S. G. Gmelin), una de las especies que habían sido reconocidas por diversos autores como recurso potencial para el establecimiento de una industria cubana de ficocoloides. La especie se seleccionó por su abundancia, tamaño y posible contenido de agar, entre las agarófitas bien representadas en nuestros ambientes arrecifales, todavía en aquel momento uno de los menos impactados en el país debido a la actividad antrópica.

En su estudio durante el resto de la década participaron numerosos especialistas. La información adquirida permitió precisar los aspectos relevantes de su biología y formular el método de cultivo más apropiado para su propagación extensiva (Areces *et al.*, 2020). No obstante, a pesar de constituir el modelo biológico que dio acceso al conocimiento en la comunidad técnica nacional de toda la problemática y retos que debían ser resueltos en la implementación de cualquier cultivo extensivo de macroalgas, mantuvo latente un gran dilema; cómo compensar los costos de la actividad o bien a partir de una alta productividad biológica, o bien del elevado valor asociado a la goma obtenida. Por crecer con rapidez solo durante el verano y contener un agar de mediana calidad debido a su concentración y características reológicas, no era un recurso competitivo con respecto a otras especies ya cultivadas en el sudeste asiático o en el Pacífico. Las especies nativas del género *Gracilaria* (Greville), otro recurso opcional, tenían una distribución mucho más restringida por estar muy asociadas a condiciones polihalinas y aquellas propias de ecosistemas arrecifales no parecían tener siquiera la productividad del modelo estudiado. La mayoría de ellas tampoco eran bien conocidas, incluso en ocasiones ni desde un punto de vista taxonómico.

La visibilidad que generó en algunos foros regionales las primeras experiencias cubanas sobre la propagación de macroalgas (Areces, 1989) y el esfuerzo por parte del Ministerio de la Pesca en la concertación de asistencia técnica con organismos multilaterales, facilitaron el desarrollo del proyecto TCP/CUB/8957 “*Cultivo de algas productoras de agar*” patrocinado por la FAO. El desarrollo de este proyecto en particular, permitió la introducción en Cuba de las tres carragenófitas una vez concluidas las estancias académicas de un especialista en la estación costera de Bolinao, Luzón, dirigida por la Universidad de Filipinas y de otro en la Universidad de San Pablo, Brasil. Ambas estancias contemplaron, en el primer caso el estudio de los sistemas de cultivo implementados a escala comercial, y un entrenamiento en mantenimiento, conservación y propagación de algas rojas a nivel de laboratorio, en el segundo caso. También durante 1992, en el marco de un convenio bilateral con la República Popular China, dos especialistas desarrollaron allí una estancia académica con el objetivo de entrenarse en cultivos de macroalgas rojas y verdes a pequeña y gran escala, así como en la extracción de sus polisacáridos.

El trabajo experimental seguido a partir del arribo de estas especies en 1991 puede estructurarse en tres etapas, detalladas a continuación:

1. Desarrollo de un protocolo de cuarentena extendido durante más de un año en el Instituto de Oceanología, del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, en el cual las especies se mantuvieron en condiciones de laboratorio hasta su recuperación, se conservaron después en tanques de agua de mar circulante aisladas del medio natural y finalmente se llevaron bajo condiciones muy controladas al mismo para analizar su capacidad adaptativa.
2. Estudio *in situ* de su potencialidad productiva, así como del posible impacto ecológico que su introducción podría ocasionar a distintas escalas en diferentes componentes del ecosistema arrecifal caribeño. Los experimentos se llevaron a cabo durante varios años en la rada del Instituto de Oceanología y en áreas cercanas a ella.
3. Elucidado el impacto ecológico que esta introducción podría ocasionar, se procedió a evaluar la fertilidad potencial de numerosos sitios de la plataforma insular para el cultivo.

Atendiendo al soporte logístico que podría brindar la Marina de Guerra en cuanto a embarcaciones, insumos materiales y personal, se coordinó la participación de la empresa productiva de esta institución durante los años comprendidos entre 1992 hasta el 2004. Con este apoyo, resultó posible determinar la potencialidad productiva de más de 50 sitios en diversos lugares de las plataformas NW y SW de Cuba (Areces, 1995), así como poner en funcionamiento una granja para la producción a mesoescala de biomasa seca de *Kappaphycus* en un área semiprotegida correspondiente a la rada del Instituto de Oceanología. La granja piloto fue constituida en sobre estructuras flotantes y tuvo una extensión de 0.8 ha. Funcionó por espacio de ocho años, obteniéndose de cuatro a cinco t de biomasa húmeda en ciclos productivos de 45 días. Su manejo posibilitó elucidar también aspectos ecológicos concernientes a colonización por epifauna, ramoneo íctico y efectos sobre comunidades naturales circundantes.

Indagar treinta años después de esta introducción, adaptación y propagación acerca de qué combinación de elementos incidieron en que la misma no fuera exitosa, tiene más objetividad a la luz del tiempo transcurrido. Las conclusiones podrían incluir tanto elementos de carácter socioeconómico como de naturaleza ambiental.

Apenas unos años después de ser abandonada la actividad, algunas prospecciones realizadas en lugares donde habían sido introducidas estas carragenófitas corroboraron su extinción en la plataforma insular cubana: en nuestras condiciones ambientales, solo con atención cultural y protección contra los fitófagos podían sobrevivir a la presión de herbivoría existente. Ello cerró el

debate acerca de la peligrosidad que esta introducción podría acarrear y demostró como la interpretación subjetiva de experiencias foráneas puede determinar incluso en la racionalidad de decisiones acerca de la reintroducción de estas especies. tomadas por agencias nacionales de control y regulación ambiental.

Otro elemento lo constituyó la sobrevaloración acerca de las posibles similitudes entre la plataforma insular cubana y el mar de Sulú, adonde estaba teniendo lugar con éxito el cultivo de *Kappaphycus*. Ambas áreas eran de naturaleza tropical, pero este último está enclavado en la Zona de Convergencia Intertropical, a diferencia de la plataforma insular, que se haya en los límites del Trópico de Cáncer, con condiciones diferenciadas en cuanto a precipitación e insolación debido al efecto de los cinturones o anticiclones de alta presión. En la plataforma insular cubana además de las altas temperaturas existentes durante gran parte del año en el agua, la insolación es intensa, con más de 200 días despejados al año (Wild *et al.*, 2017). Dicha situación puede generarle condiciones limitativas al crecimiento de cualquier macroalga no rizofítica cuando sobre este incide una disponibilidad restringida de nutrientes en el medio. El fenómeno determina a la larga que solo en sitios muy específicos se pudieran generar condiciones óptimas para desarrollar la actividad.

Quizás el elemento más importante en este fracaso haya sido de carácter económico. Dos elementos incidieron marcadamente; el poco incentivo a título personal que tuvo la actividad, tanto en cuanto a su gerenciamiento y disponibilidad de capital para invertir, como en la producción de biomasa por parte de los pescadores. A escala empresarial en ello tuvo gran influencia el modelo económico existente, asociado a un control estatal excesivo, con escasa autonomía, así como a una pobre experiencia en la dinámica de las relaciones mercantiles. A este limitado desempeño empresarial se sumó también el insuficiente esfuerzo provocado por la desmotivación generada por salarios fijos e independientes del resultado productivo que siempre tuvieron los trabajadores.

La falta de tradición social existente en actividades de este tipo tampoco puede descartarse. A pesar de que el país contaba con los recursos humanos y técnicos suficientes para implementar industrialmente la producción de gomas de tal naturaleza, el hecho de que no existiera una necesidad real que compeliere a un sector de la fuerza laboral existente a realizarla como medio de subsistencia, pudo asimismo haber influido. Todo parece demostrar que solo una combinación asentada en tradiciones de uso, potencialidades naturales y necesidades económicas que fueren a las poblaciones locales a asumir empresas de este tipo, por demás muy demandantes en cuanto a mano de obra, permite considerar a largo plazo su éxito.

REFERENCIAS



- Álamo, B., Loza, S., Sánchez, M., Montalvo, J. F., García, I., Reyes, T., Carmenate, M. (2013). Evaluación del estado trófico de seis bahías interiores del Archipiélago Sabana- Camaguey, Cuba, mediante el empleo de clorofila-a como bioindicador. *Serie Oceanológica*, 13, 9-21.
- Alcolado, P. M. (1991). Ecological assessment of semi-enclosed marine water bodies of Archipelago Sabana-Camaguey, prior tourism development. *Marine Pollution Bulletin*, 23, 375-378.
- Areces A.J. (1995). Cultivo de algas carragenófitas del género *Kappaphycus*. [p. 529-550]. En: *Manual de Métodos Ficológicos*. Alveal, K., Ferrario, M. E., Oliveira, E. C. & Sar, E. [Eds.]. Editorial Ciencia, Univ. de Concepción, Chile, 590 p.
- Areces, A. J., Bustamante, G. (1983a). La fertilización marina: ¿espejismo o realidad en la búsqueda de la abundancia? (I). *Mar y Pesca*, 214, 38-41.
- Areces, A. J., Bustamante, G. (1983b). La fertilización marina: ¿espejismo o realidad en la búsqueda de la abundancia? (II). *Mar y Pesca*, 215, 36-39.
- Areces, A. J., Cabrera, R., Díaz- Larrea, J. (2020). Biotecnología de agarófitas del género *Alsidium* C. Agardh. Requerimientos para el cultivo. Editorial Académica Española, 127 p.
- Areces, A.J. (1989). Mariculture of agarophytes in Cuba: Present Status, trends and perspectives. [p.105-109]. En: *Contribuciones, Taller "Cultivation of seaweeds in Latin America"* Abril, 2-8, S. Sebastian, San Pablo, Brasil.
- Ask, E. I., Batibasaga, A., Zertuche-González, J.A., De San, M. (2003). Three decades of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) introduction to non-endemic locations. [p. 49–57.]. En: Chapman, A.R.O., Anderson, R.J., Vreeland, V.J., & Davison, I.R. (Eds) *Seventeenth International Seaweed Symposium*. Oxford University Press, Oxford.
- Baisre, J.A. (2006). Assessment of nitrogen flows into the Cuban landscape. *Biogeochemistry* 79, 91–108. <https://doi.org/10.1007/s10533-006-9004-z>
- García Molina, J. M. (2005). La economía cubana desde el siglo XVI al XX: del colonialismo al socialismo con Mercado. *Serie Estudios y Perspectivas* 28. Unidad de Desarrollo Económico, Sede Subregional de la CEPAL (Naciones Unidas), México, 56 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS (INRH)/CONSEJO DE MINISTROS, Cuba. (1992). Informe AN/3L/XI POS/Jul/92. Inédito, 45 pp.
- Loza, S., Lugioyo, M., Martínez, M., Miravet, M. E., Montalvo, J., Sánchez, M. (2007). Evaluación de la calidad de las aguas del golfo de Batabanó a partir de indicadores biológicos y químicos. *Revista Investigaciones Marinas*, 28 (2), 111-120.
- Miravet, M. E., Lugioyo, G. M., Rodríguez, F. (2009). Índice microbiológico para evaluar el estado trófico de las aguas de la plataforma SW cubana. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 26 (1), 31-36.

Rodgers, S.K., Cox, E.F. (1999). Rate of spread of the introduced rhodophytes *Kappaphycus alvarezii*, *Kappaphycus striatum*, and *Gracilaria salicornia* and their current distributions in Kane 'ohe Bay, O'ahu, Hawai'i. *Pacific Science*, 53, 232-241.

Wild, M., Ohmura, A., Schär, C., Müller, G., Folini, D., Schwarz, M., Hakuba, M.Z., Sánchez-Lorenzo, A. (2017). The Global Energy Balance Archive (GEBA) version 2017: A database for worldwide measured surface energy fluxes. *Earth System Science Data*, 9, 601–613.

Zia, K.M., Tabasum, S., Nasif, M., Sultán, N., Aslam, N., Noreen, A., Zuber, M. (2017). A review on synthesis, properties and applications of natural polymer-based carrageenan blends and composites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 96, 282-301. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.095>.

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL CARRAGENANO PRODUCIDO POR LAS ESPECIES DEL GÉNERO *Kappaphycus* DOTY CULTIVADAS EN AGUAS COSTERAS DEL NORTE DE CUBA

  10.56238/livrosindi202407-002

Olga Valdés-Iglesias

Instituto de Ciencias del Mar (ICIMAR), Calle Loma, Alturas del Vedado, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba

Mercedes Cano

Departamento de Biología Marina, Instituto de Oceanología, CITMA, La Habana, Cuba

Roberto Adrano Padrón

Instituto de Ciencias del Mar (ICIMAR), Calle Loma, Alturas del Vedado, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba

Cecilia Díaz Moore

Departamento de Biología Marina, Instituto de Oceanología, CITMA Ira Ave, La Habana, Cuba

RESUMEN

Ejemplares de tres cepas de *Kappaphycus alvarezii* y una de *K. striatus* cultivadas en aguas costeras de norte de la isla de Cuba fueron muestreadas para el análisis de sus polisacáridos. El rendimiento del polisacárido aislado de las cepas mostró un comportamiento estacional con los mayores rendimientos en los meses de agosto y septiembre. La cepa parda de *K. alvarezii* mostró la mayor concentración de carragenina en verano con respecto a las restantes cepas e incluso en comparación con *K. striatus*, tanto en invierno como en verano. La estructura de la carragenina fue estudiada por espectroscopia IR y de resonancia magnética nuclear (RMN ^{13}C) confirmando la presencia mayoritaria de Kappa carragenano. Con la hidrólisis de los polisacáridos y el empleo de patrones, se confirmó la existencia de los monosacáridos galactosa, xilosa y glucosa mediante cromatografía sobre papel y cromatografía líquida de alta resolución (HPLC por sus siglas en inglés). El contenido de sulfatos, de 3,6 anhidro: galactosa, así como la viscosidad y la fortaleza del gel no mostraron diferencias significativas entre *K. striatus* y las tres cepas de *Kappaphycus* (verde, pardo y pardo-verdoso). Los resultados confirman la adaptación de estas especies cultivadas en aguas del Golfo de México su estacionalidad respecto a la concentración del carragenano tipo Kappa y su similitud en la estructura química.

Palabras-clave: Galactanas, K-carragenina, Gelificación.

SUMMARY

Specimens of three strains of *Kappaphycus alvarezii* and one of *K. striatus* cultivated in coastal waters of northwestern Cuba were sampled for analysis of their reserve polysaccharides. The yield of the isolated polysaccharide from the strains showed a seasonal behavior with the highest yields in August and September. The brown strain of *K. alvarezii* showed in summer the highest concentration of carrageenan with respect to the other strains and compared to *K. striatus*, even in both seasons, winter and summer. The structure of the polysaccharides was studied by IR spectroscopy and nuclear magnetic resonance (^{13}C NMR), confirming the predominant presence of Kappa carrageenan. Through the hydrolysis of the polysaccharides and the use of standards, the presence of the monosaccharides galactose, xylose and glucose was confirmed by paper and high-resolution liquid chromatography (HPLC). The sulfate and 3.6 anhydrous galactose content, as well as the viscosity and gel strength showed no significant differences between *K. striatus* and the three strains of *K. alvarezii* (green, brown, and brown-green). The results confirm the adaptation of these species

cultivated in the Gulf of Mexico waters, their seasonality respect to yield and the same chemical structure of Kappa carrageenan.

1 INTRODUCCIÓN

En la plataforma insular cubana existen 569 especies y 48 categorías infraespecíficas (una subespecie, 25 variedades y 21 formas) (Suárez *et al.*, 2023). De la totalidad de grupos registrados 299 pertenecen al grupo de las algas rojas (principales productoras de agar y carragenano). Sin embargo, la mayoría de estas entidades no son altamente productivas, debido a su pequeño tamaño y a las bajas tasas de crecimiento. Actualmente, se han descrito a nivel regional varias gelidiales, pero a pesar de su abundante cubrimiento en las áreas naturales no pueden ser explotadas por lo laborioso que sería generar procesos de cultivo (Brunelli *et al.*, 2019).

Suárez (1989) confirma la distribución de las especies de este orden fundamentalmente en la zona mesolitoral, y las considera junto a los géneros *Hypnea* y *Gracilaria* las principales productoras de ficocoloides en el país. Aspecto que fue ampliamente abordado por Díaz-Piferrer *et al* (1961).

Un intento coherente de emplear algas autóctonas cubanas de mayor porte, fue la experiencia con las especies del género *Alsidium* véase Areces *et al.*, (2020). A pesar de su factibilidad para establecer exitosamente sistemas de cultivo (Areces *et al.*, 2022), la baja calidad de su agar dada por su alto grado de metilación (Fernández *et al*, 1987) determinó el abandono prematuro de su explotación para estos fines.

Es entonces cuando se decide introducir en el país, especies más promisorias por su mayor rendimiento y que posibilitaran acometer procesos de cultivo verdaderamente sustentables. Introducido desde Filipinas en 1991, el género *Kappaphycus* (Areces & Céspedes, 1992) es, sin dudas, uno de los géneros más rentables en el establecimiento de los procesos productivos (Valderrama *et al.*, 2015). Los primeros estudios sobre este género en Cuba demostraron su rápida adaptación, determinada por la elevada tasa de crecimiento diario (Areces, 1995).

Quedaba por demostrar las respuestas fisiológicas de estas especies en el medio marino, analizadas a través de su comportamiento estacional y de la capacidad de producir carragenano, el polisacárido que le confiere su mayor importancia económica. Los estudios relativos a los cambios en el rendimiento de los ficocoloides y sus propiedades en las macrófitas son difíciles de interpretar por el gran número de factores capaces de afectar su deposición en la pared celular, entre ellos: el nivel de las radiaciones solares, la temperatura, la salinidad y el ciclo de nutrientes (Craigie, 1990). Una correlación positiva ha sido observada entre el contenido de N y el nivel de carragenina en la cepa T₄ de *Chondrus crispus* (Neish *et al.*, 1977). Esta relación conocida como efecto “*Neish*” ha sido

confirmada también para otras especies de agarófitas y carragenófitas en cultivo (Bird, 1984), quedando demostrado que las variaciones en la materia seca, la relación C/N, el crecimiento diario y la fase reproductiva son una consecuencia de la relación de las algas con el medio (Ekman *et al.*, 1991).

Si bien en Cuba el clima es bastante estable durante todo el año, las variaciones entre los periodos de lluvia y seca pueden provocar cambios en el aporte de nutrientes, así como en la salinidad de los ecosistemas costeros lo que altera el comportamiento fisiológico de la flora marina. Esto fue demostrado por Valdés-Iglesias *et al.*, (1993) para *Alsidium seaforthii* y para *A. triquetrum* (Areces *et al.*, 2020). En ambas rodofíceas los períodos de mayor producción de agar coinciden con los meses de octubre y julio respectivamente, de ahí la importancia de los factores hidrodinámicos para el establecimiento del cultivo comercial de macroalgas en zonas costeras, así como de los períodos más apropiados para su cosecha y la calidad del polisacárido producido.

Los carragenanos comprenden hasta el 50% del peso seco de las algas. Sin embargo, el método de cultivo, la edad de los ejemplares, el manejo técnico después de la cosecha y extracción método afectan el rendimiento de carragenina, así como en la calidad. Recientes investigaciones analizan algunas características estructurales y propiedades físico químicas de la carragenina aislada en las especies del género *Kappaphycus* cultivada en diferentes regiones del mundo (Simatupang *et al.*, 2021). Diversos autores han trabajado también en la caracterización de otros carragenanos extraídos en especies de aguas templadas como *Chondrus crispus*, *Kalimonia westii* y *Agardhiella subulata* (Chopin *et al.*, 1990, Chopin & Floch, 1992), capaces de variar su estructura con el ciclo reproductivo y con las condiciones del medio.

Con estos argumentos, ha sido el objetivo de este trabajo analizar los cambios experimentados en concentración y la estructura del polisacárido por el proceso adaptativo y las modificaciones propias del ecosistema, así como las variaciones estacionales en el rendimiento del carragenano de las especies del género *Kappaphycus* cultivadas en aguas costeras de Cuba, ubicada en el Golfo de México.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 COLECTA Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Fueron colectadas muestras de ejemplares de talos de las tres cepas de *Kappaphycus alvarezii* parda, parda-verde y verde y una de la cepa de *K. striatus* (**Figura 1**), que se encontraban en cultivo experimental en Playa Viriato al NW de La Habana (23°05'36" N y 82°28'32" W). La colecta se realizó manualmente mediante buceo en apnea a una profundidad de 1 m desde el nivel de marea en el sistema de cuerdas del área de cultivo según el método referido en Areces & Soberats (1992). Los

ejemplares, colectados mensualmente, se lavaron con agua de mar en el sitio de colecta, eliminándose el exceso de arena y organismos epifitos. Posteriormente fueron expuestas al sol por un período de \pm 5 días sobre superficies horadadas separadas de suelo para lograr el secado y blanqueado al sol de las algas.

Figura 1. Ejemplares de *Kappaphycus alvarezii* y *K. striatus*.



Fuente: R. Cabrera.

2.2 EXTRACCIÓN DEL POLISACÁRIDO NATIVO

Se utilizaron 25 g de biomasa algal seca, extrayéndose en agua desionizada a 90 °C por 2 horas según el método descrito por McHugh (2001) y Hardjito (2020). Transcurrido ese tiempo se filtró al vacío a través de lona y el filtrado se dejó gelificar 24 horas a temperatura ambiente. Posteriormente se procedió a la congelación de dicho gel con el objetivo de concentrar y eliminar pigmentos, antes de la precipitación con etanol del polisacárido (1:1,5). Las muestras se centrifugaron a 4000 rpm durante 15 min quedando el gel en el precipitado y, por último, fueron liofilizadas, por secado al vacío para su conservación y análisis.

2.3 TRATAMIENTO PARA LA ELIMINACIÓN DE SULFATOS

A una muestra de *K. alvarezii* (cepa parda), se le aplicó tratamiento alcalino según el método de Bourgangnan *et al.*, (1993). Para esto se trató con las soluciones de KOH 0,3 M y KCL 1,6 M a una temperatura de 80 °C durante 1 hora, lavándose el alga, posteriormente, para la extracción del polisacárido desulfatado como fue descrito en 2.2.

2.4 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL POLISACÁRIDO

Las muestras liofilizadas fueron sometidas a diferentes ensayos para determinar el contenido de carbohidratos totales según el método de Fenol-sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956). El contenido de grupos sulfatos fue determinado por turbidimetría según el método de Dodgson & Price (1962) y de 3,6 anhidro galactosa determinado según el método de Yaphe (1960) por reacción con resorcinol usando fructuosa como patrón. Con estos valores se pudo obtener la relación molar galactosa:3,6 anhidro galactosa: sulfato.

2.5 ANÁLISIS CUALITATIVO DE LOS CONSTITUYENTES DEL POLISACÁRIDO

Se procedió a efectuar una hidrólisis ácida a 15 mg del liofilizado. Esta cantidad fue transferida a un ampulla fusible con 2 mL de ácido trifluoroacético 2 M.

2.6 CROMATOGRAFÍA ASCENDENTE SOBRE PAPEL

La separación e identificación de los componentes del hidrolizado se realizó, inicialmente, mediante cromatografía ascendente empleando papel Whatman # 4 de 200 x 270 mm. Se utilizaron 20 µl de cada muestra e igual cantidad de los patrones D-Galactosa, D-glucosa y D-xilosa, a una concentración de 10 mg/ml; como fase móvil se empleó el sistema de solventes n-butanol: Piridina: agua (6:4:3). Como revelador fue empleado un spray de ftalato de anilina (Merck). El cromatograma fue leído en un densitómetro marca Desaga empleando un filtro de 545 nm y sensibilidad 3.

2.7 SEPARACIÓN DE MONOSACÁRIDOS POR HPLC

Los hidrolizados de las especies y cepas previamente desmineralizados, fueron filtrados a través de un filtro de nylon de 0,45 µm y desareados, inyectándose en una columna de Hypersyl-5S SAS sobre metanol como fase estacionaria a 25 °C en un equipo de Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPLC) marca PYE UNICAM. Como fase líquida se empleó el sistema de solventes Acetonitrilo: H₂O en proporción 75:25. Para la detección de los monosacáridos se utilizó un detector refractométrico a la salida de la columna.

2.8 ESPECTROSCOPIA INFRARROJA

Las muestras molidas de los polisacáridos obtenidos (35 mg) fueron mezcladas con 350 mg de KBr en polvo (grado IR) en mortero de ágata. La mezcla fue usada para formar la pastilla que fue colocada en un Espectrofotómetro FT-IR Nicolet 520 P con 2 cm⁻¹ de resolución. La conversión de la segunda derivada se realizó usando el software Omnic/ FT-IR versión 1.1 con el algoritmo de

Savitzky- Golay. La identificación de los picos se efectuó según las señales asignadas por Chopin & Whalen (1993).

2.9 ESPECTROSCOPIA DE RMN ^{13}C

Los espectros de RMN ^{13}C fueron registrados a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) marca Bruker modelo AC-250. Los corrimientos químicos fueron medidos en ppm relativos al estándar externo Tetrametilsilano con supresión de las señales de H_2O .

2.10 MEDICIONES FÍSICAS. PUNTOS DE FUSIÓN Y GELIFICACIÓN

Se prepararon soluciones del polisacárido al 1,5 % en tubos de ensayo, en triplicado por muestra, con una pequeña esfera de cristal en el fondo del tubo y cubiertos con un tapón de goma mono-horadado y un termómetro insertado. Después de gelificar durante 24 hr se determinó el punto de fusión al colocar los tubos de ensayo en un baño termostatado y medir el momento en que la esfera comienza a ascender, mientras que el punto de gelificación fue determinado al enfriar las muestras en baño refrigerado, midiendo la temperatura en que la esfera permaneció inmóvil.

2.11 MEDIDAS REOLÓGICAS. FORTALEZA DEL GEL

Los geles se prepararon a una concentración de 1,5 % sin KCL en agua destilada, embebiéndose durante 1 hora en ella y sometándose a reflujo a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 30 minutos con agitación. Los geles fueron conservados en refrigeración a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ con humedad constante por 18 horas. La prueba de penetrabilidad se realizó en un Texturómetro Universal INSTRON modelo 1140 con un penetrómetro de 2,075 cm de diámetro con velocidad de penetración igual a 50 mm/min y una temperatura del gel de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fizman *et al.*, 1985). A partir de la fuerza de la curva de fuerza-deformación obtenidas se calcularon los parámetros de rigidez, cohesividad y deformación del gel según el método de Frizman *et al.* (1982).

2.12 VISCOSIDAD

El método utilizado, propuesto por Craigie & Leigh (1978), permitió medir la viscosidad de una disolución del polisacárido a una concentración de 1,5 % en NaCl 0,1 M. Las determinaciones se realizaron en un viscosímetro Brookfield, modelo MD-III a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 12 rpm, con un splinder No. 18.

2.13 EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

Los resultados del comportamiento estacional del rendimiento del carragenano para *Kappaphycus striatus* y las tres cepas de *K. alvarezii* fueron procesados estadísticamente mediante el

programa *Statistica 10* (www.statsoft.com), una vez comprobada la normalidad de los datos, empleándose las medias, la desviación standard y el análisis de varianza de los índices estudiados (ANOVA) para conocer el nivel de significación obtenido.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

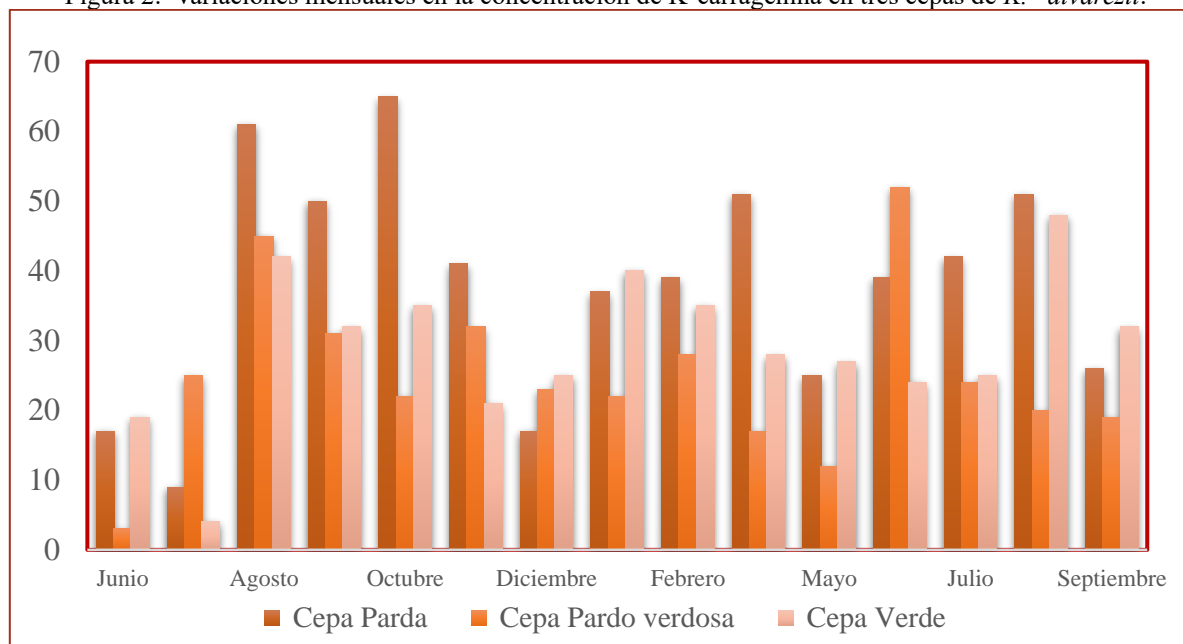
3.1 VARIACIONES MENSUALES POR ESPECIES Y CEPAS

La media de los rendimientos mensuales del polisacárido tipo carragenano en los meses de muestreo para las tres cepas de *K. alvarezii* y una de *K. striatus* se exponen en la (**Figura 2**). Se demostró la existencia de diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento del polisacárido nativo aislado de la cepa parda de *K. alvarezii* cosechada en los meses de verano con respecto a las restantes cepas y al rendimiento de *K. striatus* en invierno y verano (**Tabla I**). Las concentraciones variaron desde el 12% hasta el 67 % siendo la cepa parda la de mayor concentración incluso en relación a *K. striatus*. Estos valores coinciden con la época de crecimiento de muchas de las especies que habitan en la plataforma insular cubana y son importantes a la hora de determinar los máximos de cosecha. Similares resultados en cuanto al comportamiento estacional de la carragenina extraída de *Hypnea musciformis* fueron hallados en el estudio de esta especie en Marruecos por Aziza *et al.*, (2008) con las mayores concentraciones en la estación de verano. Aranza-Corrales & Sa-a (1990), no encontraron diferencias entre las cepas verde y parda de *K. alvarezii* para la concentración de carragenano, aunque los rendimientos mensuales variaron significativamente con incrementos en junio y decrecimiento en noviembre en cultivos comerciales de la especie de referencia. Glenn & Doty (1990) señalan que las condiciones ambientales explican más del 20 % de las variaciones en el intervalo de crecimiento de cualquier especie de macroalgas, así como la concentración de polisacárido en estas.

Tabla I. Valores medios por estación del polisacárido tipo carragenano por especie y cepas. [Letras diferentes en los supraindices indican diferencias significativas según la prueba de comparaciones de medias ANOVA].

Especie (cepa)	VERANO	INVIERNO
<i>K. alvarezii</i> (parda)	49,38 ^a ± 12,08	30,56 ^a ± 19,92
<i>k. alvarezii</i> (pardo-verdosa)	27,67 ^c ± 8,70	21,92 ^b ± 6,85
<i>K. alvarezii</i> (verde)	32,38 ^b ± 9,77	29,73 ^{ab} ± 7,03
<i>K. striatus</i>	32,07 ^b ± 15,34	21, 15 ^b ± 9,76

Figura 2. Variaciones mensuales en la concentración de K-carragenina en tres cepas de *K. alvarezii*.



Fuente: Autoría propia.

3.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Las características del polisacárido nativo aislado en las dos especies se observan en la **Tabla II**. El grado de sulfatación no presentó diferencias significativas entre especies y cepas y resultó menor a lo registrado por Aranza-Corrales & Sa-a (1990) para el carragenano de las especies cultivadas en Filipinas, pero similar al contenido de 3, 6 anhidro galactosa y porcentaje de carbohidratos totales hallados por Zertuche-González *et al.*, (1993) para *Tacanoosca uncinata* [referida como: *Eucheuma uncinatum*] cultivada en condiciones naturales sin fertilización. Santos (1989) encontró valores superiores de 3,6 anhidro galactosa y sulfatos para *K. alvarezii* cultivada en Tanzania (24 y 29 % respectivamente). Mientras la concentración de carragenina es superior a la detectada por Hurtado *et al.* (2009) a los 60 días de cultivo de la especie *K striatus*.

Rui *et al.* (1990) comprobaron la relación existente entre los factores ambientales locales y la época de cosecha con las características del polisacárido tipo carragenano en *Kappaphycus alvarezii*, lo que se corrobora en el presente trabajo. La relación molar obtenida fue cercana a la relación molar teórica establecida para la molécula kappa- carragenano donde el grado de sulfatación duplica al contenido de galactosa y 3,6 -anhidro galactosa (1:1:2). Estos resultados apuntan hacia una mejoría en la calidad del polisacárido de la cepa parda de *K. alvarezii* cultivada en aguas costeras de la zona occidental cubana y brinda la posibilidad de extender su aplicación en alimentos donde se requiera de geles más firmes o con características similares a las de un agar.

Como resultado del tratamiento alcalino de los ejemplares de la cepa parda de *K. alvarezii*, se observó una disminución en el rendimiento de carragenano y carbohidratos totales debido a la pérdida provocada por el tratamiento de desulfatación. Paralelamente se obtuvo un aumento en el contenido de 3,6 anhidro galactosa y la consiguiente disminución del contenido de sulfatos en un 5%. Esto favorece la relación molar galactosa: 3,6 anhidro: galactosa: sulfato. Santos (1989) logró aumentar la relación 3,6 anhidro galactosa: sulfato casi a 1 con el tratamiento alcalino empleado trabajando con *K. alvarezii* y *K. striatus*.

El contenido de carbohidratos totales en las muestras (**Tabla III**) podría estar afectado por el contenido de cenizas ($x=25\%$) y proteínas ($x=0.22\%$) que acompañan al polisacárido nativo. Es necesario señalar que ambas especies exudan un 5 % de KCl del total de su peso seco conjuntamente con otros minerales. No obstante, es admitido hasta el 30 % de cenizas en las especificaciones de la carragenina.

3.3 SEPARACIÓN ANALÍTICA DE LOS MONOSACÁRIDOS

En las cromatografías de los carragenanos hidrolizados de las especies y cepas de *Kappaphycus* analizadas por cromatografía sobre papel y líquida de alta resolución (conocida como HPLC) aparecen tres picos concordantes con la presencia de los monosacáridos: galactosa, xilosa y glucosa en los cromatogramas. La aparición de monosacáridos de la pared celular de las macroalgas junto a polisacáridos de reserva aislados en su forma nativa, ha sido referida por Craigie (1990) y Usov & Shashkov (1985) quienes, con el uso de la hidrólisis reductiva de la biomasa algal sin previa extracción del polisacárido aislaron los monosacáridos componentes de 40 especies de algas rojas y confirmaron la relación entre el status taxonómico y la composición polisacáridica. El concepto de polisacárido puro es abstracto ya que siempre existe la posibilidad de formación de enlaces covalentes con otros monosacáridos en la pared celular de las macrófitas y su presencia se ve favorecida por diferentes factores del medio marino donde se desarrollan, como la intensidad luminosa y la relación N:P que condicionan la síntesis de uno u otro monosacárido.

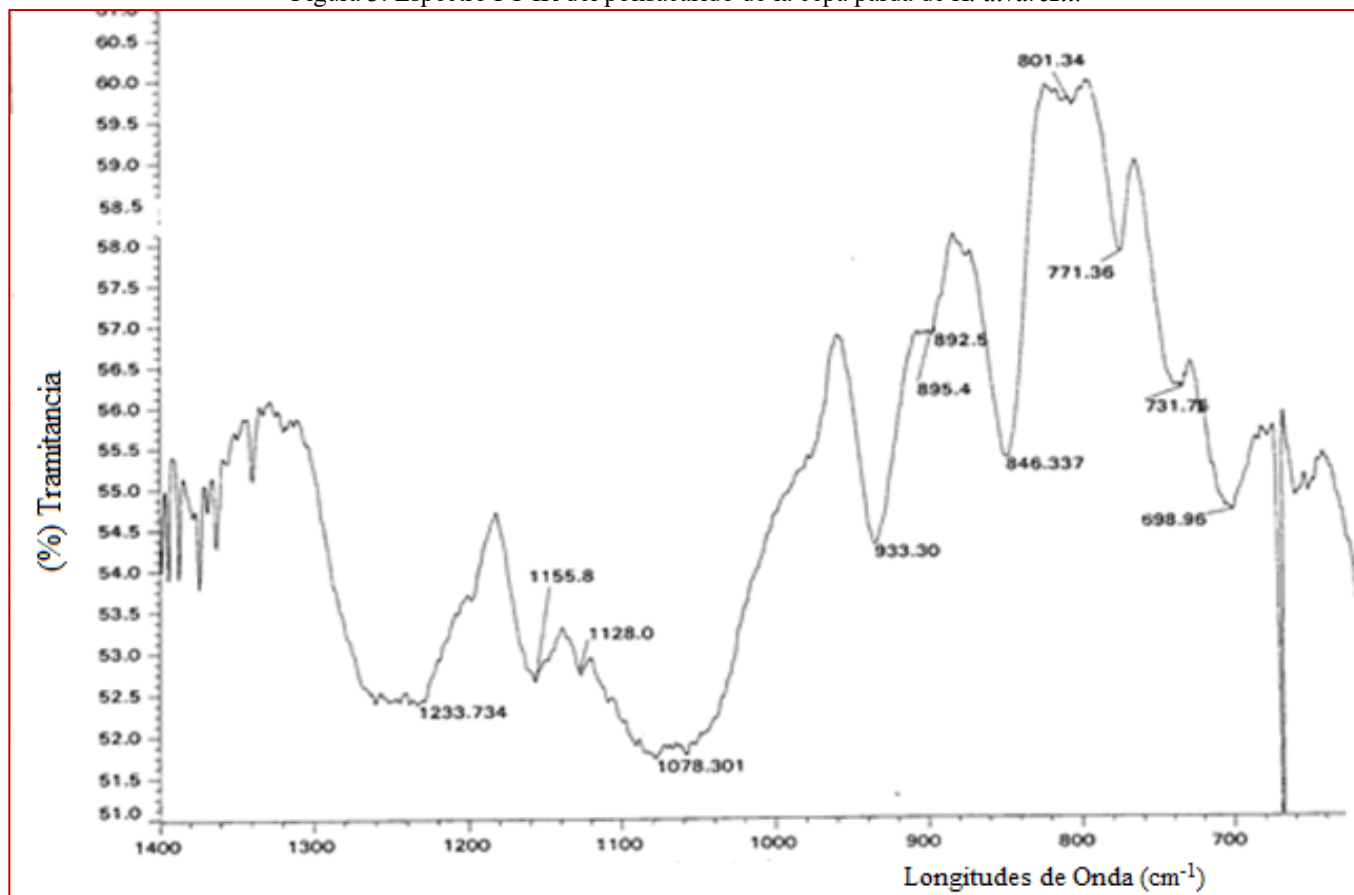
3.4. ESPECTROS FT-IR DE LOS POLISACÁRIDOS

El análisis del espectro FT- IR (**Figura 3**) del polisacárido de *K. alvarezii*, muestra las señales típicas de los galactanos sulfatados, con la banda característica a 847 cm^{-1} típica de la sulfatación sobre el C # 4 de la molécula de β - D- galactosa y otra señal a los 932 cm^{-1} debida a la vibración del puente 3,6 anhidro galactosa. La señal importante a 847 cm^{-1} , corresponde también a la existencia de alguna fracción de Iota carragenano y/o almidón floridiano en la especie (Chopin & Whalen, 1993; Chopin *et al*, 1999), el resto de las señales se corresponden con las características de un polisacárido

del tipo κ carragenano (Rochas *et al.*, 1986; McHugh, 1987; Stortz, 1995). La evaluación del contenido de éster sulfato se obtuvo tomando en cuenta la intensidad de la banda a 1233 cm^{-1} , la cual es atribuida al contenido de sulfatos totales y a la intensidad de la banda a 920 cm^{-1} , correspondiente a la tensión de los grupos -C-O-S. Por otra parte, la sulfatación sobre el grupo -OH del C-6 origina una banda a 820 cm^{-1} y otra a 850 cm^{-1} característica de la galactosa C-4 sustituida de los Kappa-carragenanos (Chopin *et al.*, 1999).

En particular, la mayoría de las algas rojas biosintetizan galactanos sulfatados con esqueletos lineales muy especiales, constituidos por la alternancia de (1 \rightarrow 3)- β -D-galactopiranosas (unidad A) y residuos de (1 \rightarrow 4)- α -galactopiranosas (unidad B). En las especies con importancia industrial como fuente de hidrocoloides, las unidades β pertenecen a la serie D y producen carrageninas (por ejemplo, Gigartinales), o a la serie L, y son fuentes de agarosa y/o polímeros estructuralmente relacionados. En estos casos, las últimas unidades aparecen como 3,6-anhidro- α -galactosa en forma ciclada y en ciertas cantidades, que se pueden aumentar mediante el tratamiento alcalino de la galactosa 6-sulfato (Ciancia *et al.*, 2020).

Figura 3. Espectro FT-IR del polisacárido de la cepa parda de *K. alvarezii*.



Fuente: Autoría propia.

3.5 ANÁLISIS DE LOS ESPECTROS EN RMN-¹³C

En la **Tabla (III)**, se muestran los resultados de los espectros de RMN-¹³C correspondientes al polisacárido obtenido de las dos especies de carragenófitas estudiadas. Los espectros se corresponden con el polisacárido de *K. alvarezii* cepa parda y el de *K. striatus*. Según las señales obtenidas y comparadas con las reportadas por Usov & Shashkov (1985) y Welti (1977), se confirmó que el polisacárido estudiado corresponde al tipo μ carragenano precursor de la kappa carragenano, si bien algunas señales típicas manifiestan un ligero corrimiento tipo β (Usov, 1984). Además, en el espectro de *K. striatus* a baja intensidad del pico correspondiente al carbono anomérico del residuo galactopiranososa podía deberse a su asociación con xilosa tal y como lo refiere Usov (1984). El resto de las señales se corresponden con las asignaciones otorgadas a los 12 carbonos típicos de la unidad disacáridica de los galactanos sulfatados en los C4 y C6 del residuo β -D- galactopiranososa y que coinciden con los carragenanos del tipo kappa. Algunas especies macrofitas de la familia Solieriaceae biosintetizan cantidades importantes de carragenanos con un claro predominio de una de estas estructuras. Así, *K. alvarezii* produce principalmente k-carrageninas (Estevez *et al.*, 2004), mientras que *Eucheuma denticulatum* y *E. perplexum* producen grandes cantidades de iota carragenano.

3.6 COMPORTAMIENTO REOLÓGICO

El resultado de la evaluación reológica es expuesto en la (**Tabla IV**). Los puntos de fusión y gelificación tienen un comportamiento muy parecido en las tres cepas de *K. alvarezii*, mientras que muestran valores inferiores a *K. striatus*. Por otra parte, el pequeño grado de histéresis que se observa para todas las muestras está en concordancia con el exhibido por los galactanos altamente sulfatados del tipo carragenano.

La fortaleza de gel fue equivalente a la registrada por Aranza-Corrales & Sa-A (1990) y Santos (1989) para estas especies cultivadas en Filipinas y Tanzania respectivamente, mientras que en relación a los valores de viscosidad los mismos resultan inferiores a los registrados por dichos autores para ambas especies cultivadas en Asia. El hecho se debe a que la relación molar produce una reducción de la resistencia ante la rotura y un aumento de la deformabilidad ya que la desagregación de las dobles hélices que constituyen la red helicoidal es mayor al disminuir el porcentaje de 3,6 anhidrogalactosa y galactosa, así como al aumento de los grupos sulfatos más reactivos (Ress, 1972). Con relación a la carragenina desulfatada, la fortaleza del gel se incrementó produciendo geles más rígidos, pero sin provocar cambios en los puntos de fusión y gelificación. La viscosidad de la muestra tratada aumentó con relación al valor obtenido para el polisacárido sin el tratamiento alcalino similares resultados fueron obtenidos por Ha *et al* (2022) al analizar las características reológicas de los geles tratados con álcalis.

Con relación al carragenano desulfatado, la fortaleza de gel aumentó produciendo geles más rígidos, pero sin provocar cambios en los puntos de fusión y gelificación. La viscosidad de la muestra tratada aumentó con relación al valor obtenido para la especie sin tratar.

Los geles de las macromoléculas de hidratos de carbono tienen un comportamiento con características viscoelásticas (Fizman *et al*, 1982). Cada gel de carragenano tipo μ , (precursor de kappa) extraído de cada cepa de *Kappaphycus* demostró las propiedades específicas que lo hacen conveniente para su aplicación. De las dos especies evaluadas la cepa parda de *K. alvarezii* produce un gel con mejores propiedades reológicas. Los carragenanos de esta cepa mostraron mayor rigidez, más alto grado de cohesividad y fuerza de gel, sugeriendo de una matriz de gel rígida y firme.

El carragenano de *K. alvarezii* parda con tratamiento alcalino mostró buenas propiedades para fines bacteriológicos. Por otro lado, el resto de las cepas de la especie rindió geles de menor fuerza, cohesividad y rigidez lo que indica que los geles producidos son débiles.

La formación de un gel termoreversible, está relacionada con los estados de transición de la estructura helicoidal en este polisacárido (Rees, 1969). La temperatura, la fuerza iónica y la naturaleza del coión regulan la carga conformacional y por consiguiente la gelificación del polisacárido (Rochas & Rinaudo, 1984). En particular, la viscosidad al 1,5% en agua a 75°C de *K. alvarezii* cepa parda es superior que la mostrada para otro carragenano tipo kappa referido, mientras la viscosidad de *K. alvarezii* cepa verde es similar al tipo de iota carragenano (30 cps) obtenido por estos autores. Rochas *et al.* (1989) describieron las relaciones entre las propiedades mecánicas de los geles de kappa carragenano y el peso molecular de éstos, así como el papel del peso molecular sobre la tensión del gel y el módulo de elasticidad de los geles. Dichos autores obtuvieron que para concentraciones diferentes de polímero (k- carragenano) fue observado un aumento del Módulo de Elasticidad con el peso molecular, aumentando a un valor crítico de $PM = 180000$.

Otro aspecto a considerar en la preservación de las propiedades reológicas de los geles de carragenanos, es el tiempo de extracción durante el procesamiento de las especies. Un tiempo de extracción igual a 60 min. produjo geles con el máximo de cohesividad (7,4 g), mayor energía de ruptura (7481 g.mm) y más firmeza (137,3 g/mm). La capacidad gelificante (k-carragenano) y el comportamiento viscosante (λ -carragenano) son características que los hacen útiles como estabilizantes de emulsiones o gelificantes de sistemas acuosos en la industria láctea fundamentalmente.

4 CONSIDERACIONES FINALES

El polisacárido tipo carragenano procedente de las especies cultivadas en aguas costeras cubanas del Golfo de México manifestó un comportamiento estacional en cuanto a su concentración, que se hace más evidente en la cepa parda de la especie *Kappaphycus alvarezii*

En las dos especies y sus cepas, las mayores concentraciones del polisacárido se observan en los ejemplares colectados en la época de verano.

Se confirma la presencia inalterada de la estructura del polisacárido tipo κ - carragenina en las tres cepas de *K. alvarezii* y *K. striatus* y; por lo tanto, se corrobora que no se produjeron modificaciones en el polisacárido por la influencia de las posibles variaciones medioambientales por adaptación secundaria de las especies y cepas.

Tabla II. Caracterización del polisacárido tipo carragenano aislado de *K. alvarezii* (tres cepas) y *K. striatus* en cultivo experimental.

Especies/cepas	Rend de carrag. (% ps)	Carb Total en los ejemplares (% ps)	3,6 anh galac (% ps)	SO ₄ (% ps)	Rel Molar Gal: 3,6 AG:SO ₄
<i>K. alvarezii</i> (parda)	53,33	63,61 ± 0,56	17,54 ± 2,96	23,88 ± 2,17	1: 0,65:1,17
<i>K. alvarezii</i> (pardo verdosa)	49,33	43,55 ± 2,85	16,50 ± 3,81	22,11 ± 3,81	1:0,67:1,84
<i>K. alvarezii</i> (verde)	46,67	51,50 ± 4,24	20,13 ± 1,25	27,39 ± 1,23	1: 0,71:1,96
<i>K. striatus</i>	41,67	57,72 ± 1,64	25, 07 ± 1,10	24,07 ± 1,09	1:0,85:1,66

Tabla III. Desplazamiento químico obtenido para cada átomo de carbono del polisacárido tipo K-carragenina por RMN-¹³C comparado con el desplazamiento comprobado por otros autores.

Polisacáridos	Residuo	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
Especies /cepa							
<i>K. alvarezii</i> (parda)	G	102,3	69,5	78,9	73,97	74,6	61,2
	A	95	69,7	79,1	8,2	76,6	69,2
<i>K. alvarezii</i> (pardo verdosa)	G	102,3	69,2	78,5	73,9	74,9	61,2
	A	95	69,8	79,1	78,3	76,7	69,5
* <i>K. alvarezii</i> (verde)	G	102,3	69,6	78,9	74,1	74,8	61,5
	A	95,3	69,9	79,2	78,3	76,8	69,5
** <i>K. striatus</i>	G	102,2	69,3	78,5	73,7	74,4	61
	A	94,9	69,5	78,9	78	76,5	69,2

Fuente: * Usov & Shashkov (1985); ** Welti (1977)

Tabla IV. Características físicas y reológicas de los geles del polisacárido tipo carragenano extraído de las especies y cepas de *Kappaphycus* estudiadas.

Parámetros/ Especies	<i>K. alvarezii</i> (cepa parda) nativa	<i>K. alvarezii</i> (cepa parda)	<i>K. alvarezii</i> (cepa pardo verdosa)	<i>K. alvarezii</i> (cepa verde)	<i>K. striatus</i>
Fuerza de gel (g/cm ²)	105	520	137	126	115
Deformabilidad (mm)	40	90	39	62	73
Rigidez (g/mm)	0,75	1,45	1	0,52	0,38
Flexibilidad (x 10 ² mm/g)	38,09	82,6	28,47	49,21	63,48
Cohesividad (g)	2	4	3	1	0,5
Viscosidad (cp)	32,5	80,75	35,25	58	65
Temperatura de fusión (°C)	42	41	45	40	38

REFERENCIAS

- Aranza – Corrales, R., & Sa-a, P. (1990). The farmed *Eucheuma* species (Gigartinales, Rhodophyta) in Danajon Reef, Philippines: carrageenan properties. *Hydrobiologia*, 204, 521–525. <https://doi.org/10.1007/BF00040280>
- Areces A.J. (1995). Cultivo de algas carragenófitas del género *Kappaphycus*. [p. 529-550]. En: *Manual de Métodos Ficológicos*. Alveal, K., Ferrario, M. E., Oliveira, E. C. & Sar, E. [Eds.]. Editorial Ciencia, Univ. de Concepción, Chile, 590 p.
- Areces, A. J., Cabrera, R., Díaz- Larrea, J. (2020). Biotecnología de agarófitas del género *Alsidium* C. Agardh. Requerimientos para el cultivo. Editorial Académica Española, 127 p.
- Areces, A. J., Céspedes, N. (1992). Potencialidad productiva de algunas carragenófitas del Indopacífico en aguas del Caribe. *Boletín de la Red Acuicultura (Colombia)*, 6 (2),13-16.
- Areces, A.J., Cabrera, R., Díaz-Larrea, J. (2022). Guía ilustrada para el cultivo in situ de *Alsidium triquetrum*. Brazilian Publicações de Periódicos e Editora Ltda. <https://doi.org/10.35587/brj.ed.0001359>
- Areces, A.J., Soberats, L.R. (1992). Optimización del cultivo in situ de *Bryothamnion triquetrum* (Gmelin) Howe mediante evaluación de diversos sistemas de sujeción. *Ciencias Biológicas*, 18, 65-76. <https://doi.org/10.7773/cm.v18i2.892>
- Aziza, M., Givernaud, T., Chikhaoui-khay, M., Bennasser, L. (2008). Seasonal variation of the growth, chemical composition carrageenan extracted from *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux harvested along the Atlantic coast of Morocco. *Scientific Research and Essay*, 2 (10), 509-514.
- Bird, K. T. (1984). Seasonal variations in protein: carbohydrate ratios in subtropical estuarine alga, *Gracilaria verrucosa* and the determination of nitrogen limitation status using these ratios. *Botanica Marina*, 27, 11-115.
- Bourgangnan, N., Lahaye, M., Cherman, J. C., Kornprobst, J. M. (1993). Composition and antiviral activities of a sulphated polysaccharides from *Schizymenia dubyi*. *Biorganic & Medical Chemical Letters*, 3 (6), 1141-1146.
- Brunelli, B., Jamas, M., Milstein, D., Boo, S. M., Fujii, M. T. (2019). *Gelidium brasiliense* sp. nov. (Gelidiales, Rhodophyta): a diminutive agarophyte from Brazil. *Journal of Applied Phycology*, 31, 951–958. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1678-9>
- Chopin, T., Floch, J. K. (1992). Eco-physiological and biochemical study of two of the most contrasting forms of *Chondrus crispus* (Rhodophyta: Gigartinales). *Marine Ecology Progress Series*, 81, 185-195.
- Chopin, T., Hanisak, M.D., Koehn, F.E., Mollion, J., Moreau, S. (1990). Studies on carrageenans and effects of seawater phosphorous concentration on carrageenan content and growth of *Agardhiella subulata* (C. Agardh) Kraft and Wynne (Rhodophyceae, Solieriaceae). *Applied Phycology*, 2, 3-16. <https://doi.org/10.1007/BF02179764>

- Chopin, T., Kerin, B. F., Mazarole, R. (1999). Phycocolloid chemistry as a taxonomic indicator of phylogeny in Gigartinales, Rhodophyceae: A review and current developments using FTI diffuse reflectance spectroscopy. *Phycological Research*, 47, 167-188. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1835.1999.00170.x>
- Chopin, T., Whalen, E. (1993). A new and rapid method for carrageenan identification by FT IR diffuse reflectance spectroscopy directly on dried, ground algal material. *Carbohydrate Research*, 246, 51-59. [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(93\)84023-y](https://doi.org/10.1016/0008-6215(93)84023-y)
- Ciancia, M., Matulewicz, M.C, Tuvikene, R. (2020). Structural Diversity in Galactans From Red Seaweeds and Its Influence on Rheological Properties. *Frontiers in Plant Science*, 11, 559986. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.559986>
- Craigie, J. S., Leigh, C. (1978). Carrageenan and agars [p. 109-131]. En: *Handbook of Phycological Methods: Phycological and Biochemical Methods*. Hellebust, J.A., & Craigie, J.S [Eds.]. Cambridge Univ. Press, 512 p.
- Craigie, J.S. (1990). Cell wall. [p. 221-257]. En: *Biology of Red Algae*. Cole, K. M., & Sheath, R.G. [Eds.]. (Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney), USA, 517 p.
- Díaz-Piferrer, M., Navia de la Campa, J. M., Saavedra, C. (1961). Taxonomía, ecología y valor nutrimental de algas marinas cubanas II. Utilización de algas en la alimentación de aves. Serie de Estudios sobre Trabajos de Investigación, Instituto Cubano de Investigaciones Tecnológicas (ICIT), 16: 1-85.
- Dodgson, K.S., Price, R. G. (1962). A note on the determination of ester sulfate content of sulfated polysaccharides. *Journal Biochemistry*, 84, 106-110. <https://doi.org/10.1042/bj0840106>
- Dubois, M.K., Gilles, A., Hamilton, J.K., Robers, P.A., Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28, 350-356.
- Ekman, P., Yu, S., Perdensen, M. (1991). Effect of altered salinity, darkness and algal nutrient status on floridoside and starch content, a-galactosidase activity and agar yield of cultivated *Gracilaria sordida*. *British Phycological Journal*, 26, 132-132.
- Estevez, J. M., Ciancia, M., Cerezo, A. S. (2004). The system of galactans of the red seaweed, *Kappaphycus alvarezii*, with emphasis on its minor constituents. *Carbohydrate Research*, 339, 2575–2592. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2004.08.010>
- Fernández, E.L., Valiente, O.G., García, R., Vélez, H., Machytka, D., Zsoldos-Mády, V., Neszmélyi, A. (1987). A ¹H- and ¹³C – NMR study of an agar polysaccharide from *Bryothamnium triquetrum*. *Carbohydrate Research*, 163, (1), 143-7. [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(87\)80175-1](https://doi.org/10.1016/0008-6215(87)80175-1)
- Fizman, S. M., Costell, E., Durán, L. (1985). Efecto de la concentración y de la adición de goma de garrofin en la resistencia a la compresión de los geles de kappa carragenato. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 25 (4), 591-598.
- Fizman, S. M., Costell, E., Durán, L. (1982). Caracterización reológica de los geles de agar. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 22, 245-256.

Glenn E.P., Doty, M. S. (1990). Growth of the seaweed *K. alvarezii*, *K. striatum* and *Eucheuma denticulatum* as affected by environment in Hawaii. *Aquaculture* 84, 245- 255.

Hardjito, L. K. (2020). Carrageenan and its Enzymatic Extraction. [p.147-159]. En: *Encyclopedia of Marine Biotechnology. Five Volume Set, First Edition*. Edited by Se-Kwon Kim. John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119143802.ch7>

Hurtado, A. Q., Critchley, A. T., Trespoe, A., Bleicher-Lhonneur, G. (2009). Growth and carrageenan quality of *Kappaphycus striatum* var. *sacol* grown at different stocking densities, duration of culture and depth. [p. 101-105]. En: *Nineteenth International Seaweed Symposium, Developments in Applied Phycology*, vol.2. M. A. Borowitzka, A. T. Critchley, S. Kraan, A. Peters K. Sjøtun, and M. Notoya [Eds.]. Dordrecht Springer.

McHugh, D. (1987). Production, properties and uses of Alginates. En: *Production and utilization of products from commercial seaweed* FAO. Fisheries Technical Paper, 288, 59-115.

McHugh, D.J. (2001). Prospects for seaweed production in developing countries. *FAO Fisheries Circular No 968 FIIU/C968*, 28 p.

Neish, A. C., Shacklock, P.F., Fox, C. H., Simpson, F. J. (1977). The cultivation of *Chondrus crispus*. Factors affecting growth under greenhouse conditions. *Canadian Journal of Botany*, 55, 2263-7.

Rees, D. A. (1969). Structure, conformation and mechanism in the formation of polysaccharides gels and network. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, 24, 267- 232.

Rees, D.A. (1972). Polysaccharide gels, a molecular view. *Chemical Industry*, 630-636.

Rochas, C., Rinaudo, M. (1984). Mechanism of gel formation in K- carrageenan. *Biopolymers*, 23, 723- 745.

Rochas, C., Rinaudo, M., Landry, S. (1986). Role of the Molecular weigh on the mechanical properties of Kappa carrageenan gels. *Carbohydrate Polymers*, 12, 255-266. [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(90\)90067-3](https://doi.org/10.1016/0144-8617(90)90067-3)

Rochas, C., Rinaudo, M., Landry, S. (1989). Relation between the molecular structure and mechanical properties of carrageenan gels. *Carbohydrate Polymers*, 10, 115-127. [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(89\)90061-1](https://doi.org/10.1016/0144-8617(89)90061-1)

Rui, L., Jiamjun, L., Chaouyan, W. (1990). Effect of ammonium on growth and carrageenan content in *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta). *Hydrobiologia*, 204/205, 499-503.

Santos, G. A. (1989). Carrageenans of species of *Eucheuma* J. Agardh and *Kappaphycus* Doty (Solieriaceae, Rhodophyta) *Aquatic Botany*, 36, 55-67.

Simatupang, N. F., Pong-Masak, P. R., Ratnawati, P., Agusman, P. N. A., Rimmer, M. A. (2021). Growth and product quality of the seaweed *Kappaphycus alvarezii* from different farming locations in Indonesia. *Aquaculture Reports*, 20, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100685>

Stortz, C. (1995). Métodos espectroscópicos para la caracterización de los polisacáridos. [p. 728-749]. En: *Manual de Métodos Ficológicos*. Alveal, K., Ferrario, M. E., Oliveira, E. C. & Sar, E. [Eds.]. Editorial Ciencia, Univ. de Concepción, Chile, 590 p.

Suárez, A. M. (1989). Ecología del macrofitobentos de la plataforma de Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 10 (3), 187-206.

Suárez, A. M., Martínez-Daranas, B., Alfonso Sánchez Y., Moreira-González A. R., Jover Capote, A. (2023). Lista actualizada de las macroalgas marinas cubanas. *Acta Botánica Mexicana* 130: e2196 <https://doi.org/10.21829/abm130.2023.2196>

Usov, A. I. (1984). NMR Spectroscopy of red Seaweed Polysaccharides, agar, carrageenans and xylans. *Botanica Marina*, XXVII, 189-202.

Usov, A.I., Shashkov, A. (1985). Polysaccharides of Algae XXXIV: Detection of Iota-Carrageenan in *Phyllophora brodiaei* (Turn.) J. Ag. (Rhodophyta) Using ¹³C-NMR Spectroscopy. *Botanica Marina*, Vol. XXVIII, 367-373.

Valderrama, D., Junning Cai, J., Hishamunda, N., Ridler, N., Neish, I. C., Hurtado, A.Q., Msuya, F. E., Krishnan, M., Narayanakumar, R., Kronen, M., Robledo, D., Gasca-Leyva, E., Fraga, J. (2015). The Economics of Kappaphycus Seaweed Cultivation in Developing Countries: A Comparative Analysis of Farming Systems. *Aquaculture Economics & Management*, 19, 2, 251-277. <https://doi.org/10.1080/13657305.2015.1024348>


Valdés, O., Cortés, R., Areces, A., Díaz, M. (1993). Variación estacional y caracterización del polisacárido obtenido del alga roja cubana *Bryothamnion seforthii* (Turner) Kützing, procedente de un banco natural de la costa norte de la plataforma insular cubana. *Revista Facultad de Química Universidad Autónoma de Yucatán*, 12, 13-18.

Welti, D. (1977). Carrageenan. Part 12. The 300 MHz proton magnetic resonance spectra of methyl β-D-galactopyranoside, methyl 3,6-anhydro-α-D-galactopyranoside. agarose. K.carrageenan and segments of Iota-carrageenan and agarose sulphate. *Journal of Chemical Research*, 312- 313.

Yaphe, W. (1960). *Analytical Chemistry*. Vol. 32, 1327 p.

Zertuche-González, J.A., Pacheco-Ruiz, I., Soria-Mercado, J.E. (1993). Carrageenan yields and properties of *Euचेuma uncinatum* (Seth & Gard) Daw. cultured under natural conditions. *Hydrobiologia*, 0, 1-5.

PAPEL DEL HERBIVORISMO ÍCTICO EN LA SUPERVIVENCIA DEL GÉNERO *Kappaphycus* (GIGARTINALES, RHODOPHYTA) EN EL ECOSISTEMA ARRECIFAL CARIBEÑO

 10.56238/livrosindi202407-003

Alejandro Serpa-Madrigal

Departamento de Biología Marina, Instituto de Oceanología, CITMA Ira Ave, La Habana, Cuba

Arsenio José Areces

Departamento de Biología Marina, Instituto de Oceanología, CITMA, La Habana, Cuba

Ruben Cabrera

Gabinete de Arqueología, Oficina del Historiador de la Ciudad, Habana Vieja, Cuba

Jhoana Díaz-Larrea

Unidad Iztapalapa, Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, México

RESUMEN

Se analizan los resultados de experimentos realizados con el objetivo de determinar la intensidad de herbivorismo y la supervivencia de las cepas verdes y pardas de *Kappaphycus alvarezii* así como de *Kappaphycus striatus* en diferentes zonas de un ecosistema arrecifal caribeño. Fue analizado también en ambas especies el efecto sinérgico que ocasiona la profundidad sobre la intensidad del herbivorismo. En relación a la presencia de herbívoros, las zonas comparadas se segregaron en dos grupos. En uno de ellos, sometido a gran presión de herbivoría, como norma general los ejemplares perdían peso. En el otro, con mucha menor presión, el peso de los mismos aumentó. *K. striatus* resultó la especie más consumida por los herbívoros, mientras que la cepa verde de *K. alvarezii* fue la menos afectada en los biotopos contrastados, excepto en los fondos rocosos con mantos de *Alsidium triquetrum* (S. G. Gmelin) Trevisan. Se comprobó que *Kappaphycus* subsiste solo en las zonas más someras del arrecife, exceptuando 5 m de profundidad en la cual no sobrevive a causa de la intensa presión de herbivoría. A profundidades de 10 y 15 m la supervivencia de *Kappaphycus* es muy limitada, posiblemente a causa de la disminución de la intensidad lumínica y de un menor dinamismo de la masa de agua. Como mostraron los datos de consumo diario, aparentemente el ramoneo íctico puede ser inducido conductualmente.

Palabras-clave: Depredación, Herbivorismo.

SUMMARY

The results of experiments carried out with the green and brown strains of *Kappaphycus alvarezii* as well as *K. striatus* to determine the intensity of herbivory and survival in different zones of a Caribbean reef ecosystem, are analyzed. The synergistic effect of depth on the intensity of herbivory was also analyzed in both species. With respect to the presence of herbivores, the compared zones were segregated into two groups. In one of them, subjected to high grazing pressure, the specimens generally lost weight. In the other, with much lower pressure, their weight increased. *K. striatus* was found to be the most consumed species by herbivores, while the green strain of *K. alvarezii* was the least affected in the contrasting biotopes, except in rocky bottoms where *Alsidium triquetrum* (S.G. Gmelin) Trevisan thrives. It was found that *Kappaphycus* only subsists in the shallowest zones of the reef, except for 5 meters of depth, in which it does not survive due to intense grazing pressure. At depths of 10 and 15 meters, the survival of *Kappaphycus* is very limited, possibly due to lower light intensity and less water mass dynamics. As the daily consumption data showed, fish grazing may be behaviorally induced

1 INTRODUCCIÓN

La comparación de los medios marino y terrestre reviste diferencias singulares. Entre los elementos que componen los ecosistemas marinos existe a cualquier nivel mayor conectividad. Los procesos físicos tienen además una dinámica mucho más lenta en el océano y su influencia sobre los procesos biológicos es completa a escalas tanto espaciales como temporales. A pesar de que en el medio marino los gradientes longitudinales se añaden a los latitudinales y los ambientes pelágicos son claramente discernibles de los bentónicos, no se observan las pronunciadas fronteras físicas que poseen los ecosistemas terrestres.

Desde un punto de vista trófico en el medio marino más del 85 % de la biomasa producida por los autótrofos es consumida por los herbívoros (Randall, 1967), la que se distribuye a los niveles subsecuentes por esta ruta (Gasche *et al.*, 2012). Esta situación, sin embargo, no se cumple en la mayoría de los ecosistemas terrestres donde, es la vía del detrito, la responsable de incorporar en su mayor parte esta energía en la cadena trófica (Begon *et al.*, 1999).

Por la importancia que revisten los fitófagos en el control de la cobertura y distribución espacial de los vegetales marinos, cuya fundamentación ha sido avalada por múltiples investigaciones, entre ellas algunas clásicas como la de Carpenter (1986), es de vital importancia conocer la presión de herbivorismo a la que puedan ser sometidas aquellas macroalgas tropicales introducidas en zonas ajenas a las de su distribución original, que cuentan además con una diversa y abundante ictiofauna herbívora (Randall, 1967). Solo así, puede precisarse el potencial regenerativo que las algas introducidas manifestarán sin el concurso del hombre, elemento que en definitiva determinará el riesgo ecológico que conlleva su introducción.

La introducción de una especie exótica requiere el realizar un estudio detallado de la interacción que establecerá esta con el ecosistema receptor (Inderjit *et al.*, 2006). La selección de la especie a introducir dependerá de los fines que persigan, de sus peculiaridades biológicas, así como su potencial adaptación a las características del lugar donde esta se asentará. En este nuevo medio, la especie foránea formará una unidad de mutua interacción y desarrollo con el conjunto de especies residentes (Berovides, 1988). Aunque se supone que, las introducciones más devastadoras han sido aquellas de depredadores polípagos o generalistas en ecosistemas pequeños, o aislados como las islas (Salo *et al.*, 2007), no puede subestimarse la exclusión competitiva que algas introducidas de elevadas tasas de crecimiento como *Kappaphycus* pudieran ocasionar sobre los mantos algales autóctonos (Conklin & Smith, 2005), así como sobre otros organismos sésiles en lugares desfavorables para su escape espacial (Serpa-Madrugal *et al.*, 1997).

El presente trabajo formó parte de los estudios realizados con las especies del género *Kappaphycus* Doty introducidas en Cuba en 1991 desde Filipinas (Areces & Céspedes, 1992; Areces, 1995).

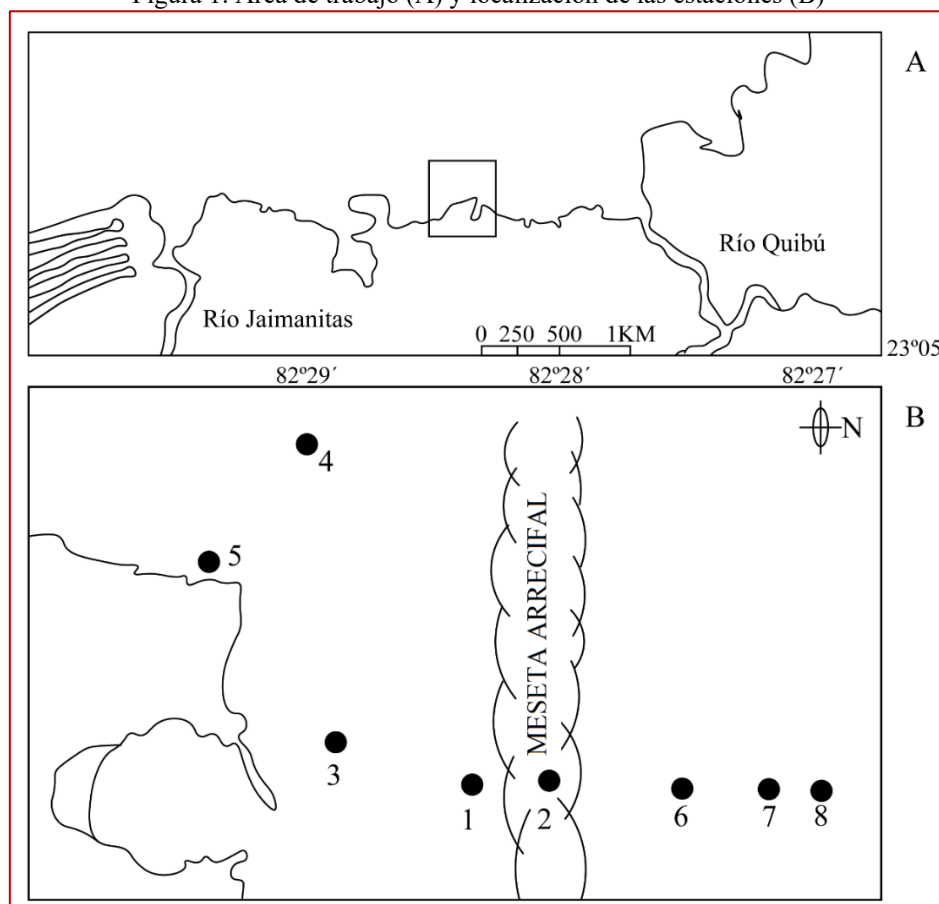
Los aportes en cuanto a los requerimientos fitotécnicos del género, su crecimiento tanto en zonas de cultivo controladas como en relación con la severidad ambiental han sido resumidas en buena parte por Areces *et al.*, (2014). En este capítulo se exponen los resultados de experimentos realizados con el fin de determinar, la supervivencia y el ritmo de consumo al cual este se ve sometido, cuando alguna de sus especies se introduce en diferentes biotopos del arrecife.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ZONA DE ESTUDIO

Entre los meses de mayo y septiembre de 1993 fueron realizados tres experimentos en zonas cercanas al Instituto de Oceanología 82° 29.1 W; 23° 5.6 N situado en el litoral N de la ciudad de La Habana, aproximadamente 1 km al oeste del Río Quibú (**Figura 1**). Los ejemplares de *Kappaphycus* fueron obtenidos en una granja ubicada en la rada de dicha institución.

Figura 1. Área de trabajo (A) y localización de las estaciones (B)



Fuente: Autoría propia.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

2.2.1 Herbivorismo íctico sobre dos especies y variedades de *Kappaphycus* en diferentes zonas del arrecife (Ex1)

Para determinar la intensidad del herbivorismo sobre las dos especies cultivadas en diferentes biotopos del arrecife se estudió el ritmo de consumo según metodología desarrollada por Hay (1981b). Se utilizaron las cepas verdes y parda de la especie *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty y la especie *Kappaphycus striatus* (Schmitz) Doty. Los ejemplares fueron recogidos en el momento de preparar los experimentos y seccionados en pedazos.

Con posterioridad se estableció un peso de 25 g para las porciones de macroalgas, fijándose después a una cuerda mediante cinta de polipropileno. Las especies, con sus cepas respectivas se alternaron al colocarse sobre la cuerda con una separación entre sí de 20 cm.

Las cuerdas se situaron durante 24 horas en cuatro biotopos del arrecife (zonas 1, 2, 3 y 4 **Figura 1**). Pasadas las 24 hrs., los especímenes eran retirados y sustituidos por otros nuevos reintroducidos, repitiéndose el proceso durante 9 días consecutivos. En cada repetición del experimento se obtenía, la diferencia entre el peso inicial y final de cada porción de macroalga. Las características generales de los biotopos se detallan al final de la descripción de los experimentos.

2.2.2 Persistencia en el ecosistema arrecifal (Ex2)

Para conocer la capacidad de supervivencia en varias zonas del arrecife de las dos especies del género evaluadas, se diseñó el siguiente experimento. Se prepararon cinco porciones de la cepa verde de *Kappaphycus alvarezii* con un peso de 200 gramos y se sujetaron a piedras utilizando mallas de polipropileno de 6 cm de abertura. Estos fueron colocados respectivamente sobre fondos de rocas con escasa vegetación y fondos de *Thalassia* (Zonas 1 y 4), coincidiendo con las zonas del experimento anterior, y una tercera zona de fondo rocoso somero (Zona 5). Al efecto de discernir la posible sinergia entre el herbivorismo y la profundidad sobre la supervivencia del género, fueron también colocados un número similar de ejemplares del mismo peso, sobre fondo rocoso a 5, 10 y 15 metros de profundidad en la pendiente arrecifal (Zonas 6, 7 y 8, **Figura 1**). El experimento tuvo una duración de 66 días, y se repitió dos veces con las cinco réplicas por tratamiento.

Los ejemplares usados en todos los experimentos se pesaron en una balanza biplato de 0.01 g. de precisión, siempre después de los primeros 15 minutos de extraídos del agua. Experimentos previos demostraron que las mayores variaciones del peso húmedo ocurrían en los primeros 15 minutos (Serpa-Madrigal & Areces, 1998). Las diferencias de peso detectadas, fueron llevadas a porcentaje en Ex1, se asumió el peso inicial de cada ejemplar como el 100 %. En Ex2 las variaciones de peso se expresaron en gramos.

2.2.3 Inducción conductual del ramoneo en la ictiofauna herbívora (Ex3)

Para determinar cómo puede incidir sobre el ramoneo el comportamiento imitativo de la grey de peces herbívoros durante su movimiento por el arrecife, se seleccionó a *K. striatus*, la especie más depredada por la ictiofauna y la zona 1, correspondiente a uno de los biotopos donde la tasa de herbivoría fue mayor. En esta zona fueron fijados a una cuerda suspendida 50 cm del fondo, diez ejemplares de 50 g separados 20 cm entre sí mediante cinta de polipropileno. Los mismos fueron reemplazados por otros nuevos a la misma hora durante 9 días consecutivos.

El contraste estadístico en todos los experimentos se realizó mediante un Análisis de Varianza (ANDEVA) de clasificación simple, o multifactorial cuando fue necesario. Cuando este resultaba significativo se identificaban las diferencias entre grupos mediante la prueba de análisis de rangos múltiples LSD contenido en el paquete estadístico STATISTICA (STATSOFT, 2004).

2.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS BIOTOPOS

Zona 1. Arrecife trasero: este biotopo con sustrato rocoso y escasa vegetación, se encuentra entre la meseta arrecifal y el fondo de macroalgas de la laguna arrecifal, a una profundidad de 2 m. En él, se observaron ejemplares de corales *Millepora complanata* Lamarck y la presencia muy frecuente de loros (*Scarus* sp.) y barberos (*Acanthurus* sp.). No se encontraron erizos. Por ser una zona totalmente desprovista de refugio se presume que la ictiofauna presente es migratoria.

Zona 2. Meseta arrecifal: zona provista con gran cantidad de refugios, sin mantos de algas. Se observaron cardúmenes de barberos, y loros. También se observó el erizo negro, *Diadema antillarum* Philippi.

Zona 3. Roca con vegetación: dentro del arrecife trasero, en la laguna arrecifal a 2 m de profundidad. En él se desarrolla un manto abundante del alga roja *Alsidium triquetrum* (S. G. Gmelin) Trevisan, con presencia de otras macroalgas como *Hypnea musciformis* (Wulfen in Jacquin) Lamourox y *Ulva Lactuca* Linnaeus. Con frecuencia los cardúmenes de loros merodearon la zona. Se observaron algunos ejemplares del coral *Millepora complanata* Lamarck.

Zona 4. Pasto marino: fondos de *Thalassia*, conocido popularmente como seibadal en la laguna arrecifal, a 2 m de profundidad detrás de la barrera, con gran abundancia de *Syringodium filiforme* (Kützing), conocida como hierba de manatí. Estos placeres de fanerógamas logran alcanzar una altura de 24.3 cm. La ictiofauna siempre estuvo compuesta por juveniles de diferentes especies de loros.

Zona 5. Fondo rocoso somero: situado inmediatamente debajo de la zona intermareal, este fondo a 0.5 m de profundidad presentó una cobertura abundante de macroalgas como *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh, *Padina* sp. y *Halimeda* sp. No se observó ictiofauna en sus inmediaciones.

Zona 6. Explanada abrasiva: situada a 5 m de profundidad en la pendiente arrecifal. Los corales hermatípicos ramificados *Acropora palmata* Lamarck y *A. cervicornis* Lamarck aportan mucho refugio. Los loros y barberos fueron muy abundantes observándose gorgonáceos y varias especies de algas calcáreas de los géneros *Halimeda*, *Jania* y *Amphyroa*.

Zona 7. Fondo de camellones y cangilones situado a 10 m de profundidad en la pendiente arrecifal. Fueron conspicuas algunas especies masivas de corales, principalmente del género *Montastrea*. Se observaron varias especies de gorgonáceos, y abundaron, además, especies de algas calcáreas de los géneros *Halimeda*, *Jania* y *Amphyroa*.

Zona 8. Fondo de camellones y cangilones situado a 15 m de profundidad en la pendiente arrecifal. Presentó características similares a la estación anterior en cuanto a composición biológica.

3 RESULTADOS

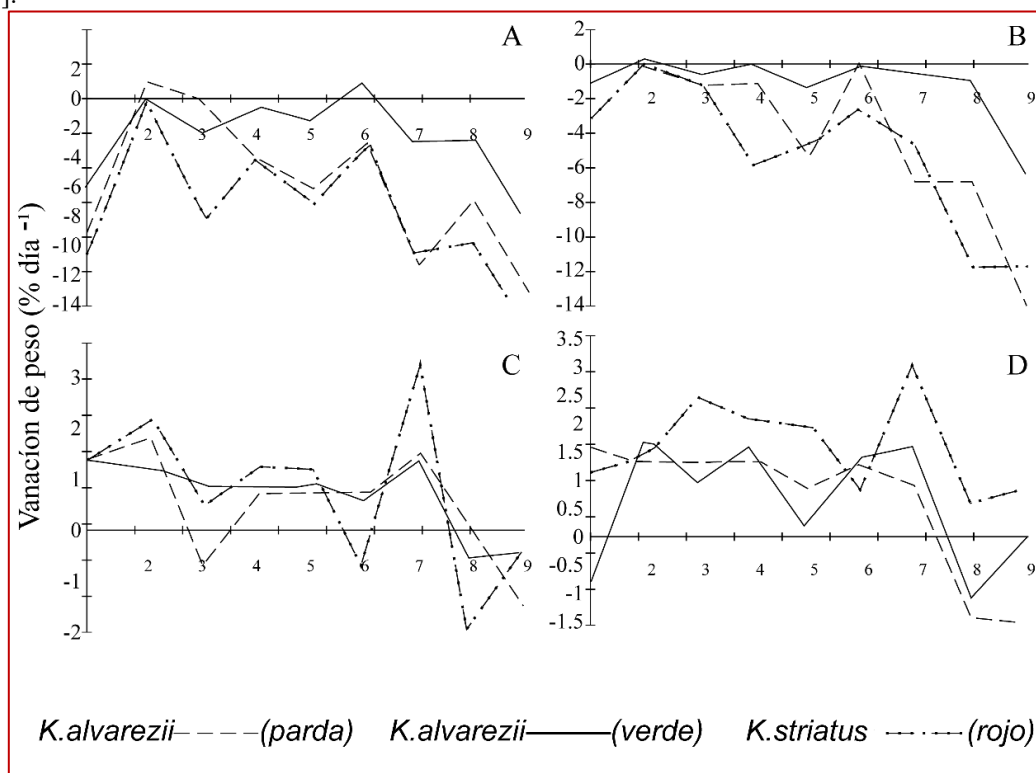
3.1 PRESIÓN DE HERBIVORISMO EN DIFERENTES ZONAS DEL ARRECIFE

En las zonas 1 y 2, se observaron las mayores abundancias de peces, fundamentalmente loros y barberos, llegando estos últimos a formar cardúmenes de hasta 100 individuos. En el Caribe y muchas áreas del Atlántico los barberos son los peces más abundantes del arrecife (Claro *et al.*, 2009). Se pudo observar que estos pastoreaban selectivamente, de manera inicial sobre las ramas más tiernas y pequeñas, y posteriormente sobre las más gruesas. A pesar de sus fuertes piezas bucales (Duffy & Hay, 1990; Choat, 1991), los loros no fueron observados consumiendo el alga. Hay *et al.*, (1989) plantea que estos prefieren *Thalassia testudinum* y según Choat (1991) también algas formadoras de césped. Algunas especies del género *Kyphosus* Lacépède pueden también ser responsables de parte de las pérdidas de biomasa algal durante la noche.

El pastoreo contribuyó de manera significativa a la pérdida de biomasa algal y consecuentemente, a la disminución de la tasa de crecimiento de todos los ejemplares. El peso medio perdido a causa del herbivorismo fue de 1.7 g día⁻¹ y constituyó el 7.2 % del peso de los ejemplares de *K. alvarezii* de coloración verde. Las tasas de consumo diarias encontradas en algunas zonas alcanzaron valores medios de hasta 32.3 % con respecto al peso inicial (**Tabla I**), y superan ampliamente la tasa promedio de crecimiento la cual fue superior al 6 % registrada en el área donde estuvo ubicada la granja de *Kapaphycus*.

El ritmo de consumo diario entre las zonas someras del arrecife manifestó diferencias significativas (ANDEVA $p < 0.001$, **Figura 2**).

Figura 2. Variación media del peso de *Kappaphycus* a causa del herbivorismo durante los nueve días que duró el experimento para cada especie y variedad correspondiente. Las letras indican los biotopos: (A) Meseta arrecifal [estación 1], (B) Roca sin vegetación [estación 2], (C) Roca con vegetación [estación 3], (D) Fondo con pastos marino de *Thalassia* [estación 4].



Fuente: Autoría propia.

Dichas zonas se segregaron en dos grupos, uno donde como norma general, los ejemplares pierden peso (Zonas 1 y 2, en la **Figura 2** A, B) y otro donde logran aumentar de peso (Zonas 3 y 4, en la **Figura 2** C, D).

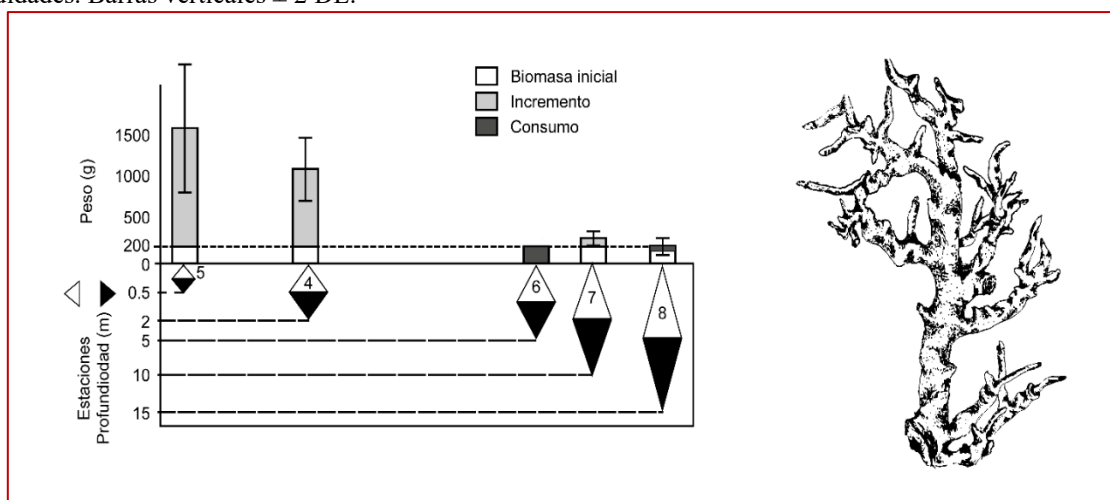
Se encontró asimismo una respuesta diferenciada por zonas del consumo de las especies (ANDEVA, $p < 0.001$, **Tabla I**). En zonas con baja tasa de consumo, la especie *K. striatus* superó al resto de las cepas de *K. alvarezii* en la tasa de crecimiento. En la zona de roca con vegetación dicha tasa llega a ser incluso significativamente mayor. Por el contrario, en aquellas zonas con elevado pastoreo, *K. striatus* fue la más afectada (LSD, $\theta < 0.05$). De este modo, *K. striatus* ubicada en zonas de bajo consumo mostró un crecimiento superior al del resto de las cepas y por el contrario, en aquellas zonas con elevado ritmo de pastoreo, *K. striatus* resultó el más afectado (LSD, $\theta < 0.05$, **Tabla I**).

3.2 PERSISTENCIA EN EL ECOSISTEMA ARRECIFAL DE LOS EJEMPLARES DE LA CEPA VERDE DE *K. ALVAREZII*

Se encontraron diferencias significativas entre los biotopos someros y aquellos de la parte externa del arrecife. Solo los ejemplares situados en las zonas más someras (zona 4 y 5) incrementaron su peso significativamente, no así en las zonas más profundas del arrecife (zonas 6, 7 y 8) donde incluso llegaron a perder peso (**Figura 3**).

Los ejemplares de *Kappaphycus* situados en la pendiente arrecifal, mostraron diferentes capacidades de supervivencia de acuerdo con la profundidad. En la zona 6, ubicada a 5 m de profundidad, el material fue consumido en su totalidad. En la zona 7 (a 10 m), se registró un débil crecimiento, mientras que en la zona 8 (15 m) los ejemplares también perdieron peso. En todas las zonas estudiadas, los ejemplares presentaron huellas de pastoreo.

Figura 3. *Kappaphycus. alvarezii* cepa verde. Variación media de la biomasa en los biotopos arrecifales a diferentes profundidades. Barras verticales ± 2 DE.

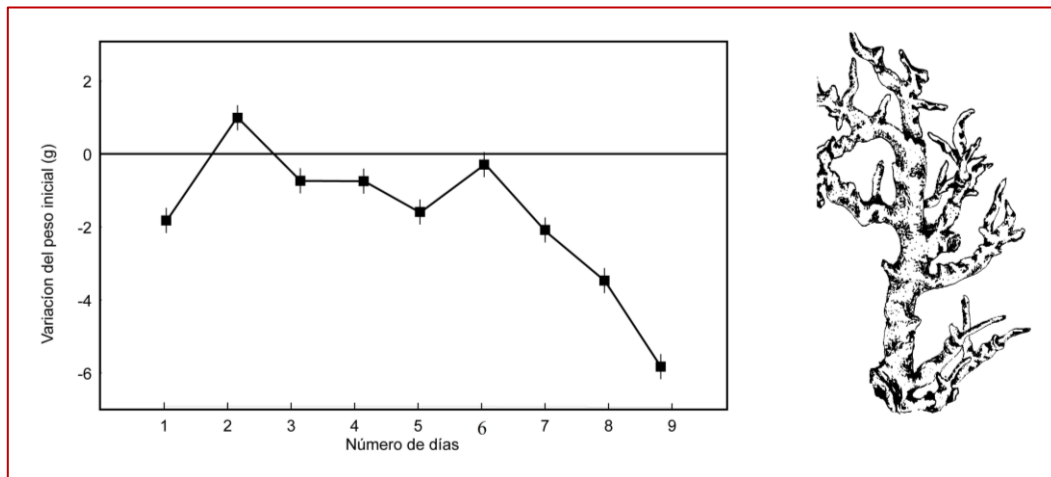


Fuente: Autoría propia.

3.3 INDUCCIÓN CONDUCTUAL DEL RAMONEO

Como muestran los datos derivados de Ex 3, cuando se representa el consumo diario, puede observarse una sostenida tendencia al aumento durante los nueve días consecutivos que duró el experimento. En apariencia la DE no mostro variaciones marcadas a lo largo del experimento, lo cual demuestra que el ramoneo fue equivalente sobre todos los ejemplares, aunque su consumo variara. El consumo diario se incrementa de manera sostenida y notablemente a partir del sexto día. Este hecho pudiera indicar una respuesta conductual del cardumen inducida por el reconocimiento previo de sitios con disponibilidad de biomasa apta para ser consumida, lo cual se refleja en la incorporación de nuevos miembros a la grey, o más tiempo de ramoneo en el lugar (**Figura 4**).

Figura 4. *Kappaphycus alvarezii* cepa verde. Variación media diaria del peso en cada uno de los días que duró el experimento. Barras verticales ± 1 DE.



DE= Desviación Estándar.
Fuente: Autoría propia.

4 DISCUSIÓN

Muchos estudios han confirmado la importancia del herbivorismo en la distribución de las macroalgas (Cordeiro *et al.*, 2020). En muchos arrecifes tropicales han sido descritas variaciones espaciales en relación a la intensidad de pastoreo por peces (Bertocci *et al.*, 2017) y a la abundancia de los peces herbívoros (Vincent *et al.*, 2011). Las planicies arrecifales intermareales y los arenazos profundos parecen constituir refugios espaciales y temporales para las algas ante los herbívoros (Hay, 1981b), mientras que en las zonas más complejas del arrecife por su conformación espacial solo logran permanecer aquellas macrófitas cuyas defensas químicas y/o estructurales provocan una disminución del pastoreo (Carlson *et al.*, 2021).

Los resultados expuestos coinciden con otros hallazgos acerca del efecto que ocasiona en arrecifes del Caribe la heterogeneidad espacial en la intensidad del pastoreo (Adler *et al.*, 2001), hecho que sugiere que la presión de pastoreo al cual se verían sometidas estas carragenofitas exóticas una vez introducidas en el ecosistema arrecifal caribeño, sería con mucha probabilidad equivalente a la de otras especies de macroalgas carnosas.

Las zonas someras con abundantes lechos de fanerógamas y macroalgas, constituyen refugio para los ejemplares de *Kappaphycus*. En estas zonas, los ritmos de consumo son más bajos y mayores los aumentos de biomasa, y *Kappaphycus* al igual que otras especies de algas, logran permanecer y aumentar en biomasa cuando el acceso de los herbívoros es limitado (Stamoulis *et al.*, 2017). La correspondencia encontrada en los dos experimentos es consistente, pues solo en aquellas zonas inaccesibles a los herbívoros, pudo *Kappaphycus* persistir (Tabla 1, Figura 3 para las zonas 4 y 5).

Tanto los ejemplares que perdieron biomasa, como los que aumentaron de peso presentaron huellas de pastoreo por peces, lo cual indica que este factor modula significativamente el éxito

adaptativo de dichas especies en el Caribe. La presencia de huellas de ramoneo aun en los ejemplares que aumentaron de peso, denota una intensidad de pastoreo siempre presente aun en las zonas más favorables y el precario equilibrio que subsiste entre supervivencia y productividad cuando el manejo agrotécnico no contempla estas características ecológicas.

Kappaphycus striatus presentó un comportamiento diferenciado tanto para condiciones de bajo como alto herbivorismo. La especie tuvo las mayores pérdidas de biomasa algal en zonas con elevados herbivorismo, y las menores en zonas con bajos ritmos de consumo (**Tabla 1**). El mayor aumento de peso observado en *K. striatus*, en zonas con bajo herbivorismo, permite suponer que ello se debe a la mayor tasa de crecimiento que la misma presenta en ausencia de herbívoros (Serpa Madrigal *et al.*, 1997). Esta especie parece ser además más susceptible ante los herbívoros que cualesquiera de las variedades de *K. alvarezii*. Las mayores pérdidas encontradas en la zona de elevada tasa de consumo del vegetal así lo confirman (**Tabla 1**). La especie presenta también una mayor densidad de ápices tiernos de gran aceptación por los herbívoros (Serpa Madrigal & Areces, 1998), y parece contener menos sustancias disuasivas para depredadores. Esto motivó que su cultivo más efectivo en condiciones experimentales fuera realizado en jaulas protegidas de potenciales herbívoros (Kasim *et al.*, 2020). Del mismo modo, estudios experimentales han demostrado que sus porciones más jóvenes son más susceptibles de ser consumidas por herbívoros (Van Alstyne *et al.*, 1999). Sin embargo, en el manto de *Alsidium* no se observó este hecho, pues los valores de consumo oscilaron de forma errática (**Figura 2 C**).

Aunque las diferencias encontradas entre días (ANDEVA, $p < 0.001$) pudieran ser atribuidas a las dificultades que imponen al forrajeo las condiciones climáticas adversas (Odden *et al.*, 1976; Van den Hock *et al.*, 1978), la sostenida tendencia al aumento del ritmo de consumo observada en los nueve días consecutivos que duró el experimento, puede sustentar la hipótesis de que existe un proceso de aprendizaje por parte de los peces herbívoros, que unido a su carácter gregario causan un paulatino aumento del número de ellos pastoreando sobre las algas. Observaciones realizadas después de colocadas las muestras y durante el experimento permitieron comprobar que el número de barberos que llegan a comer aumentan a medida que transcurre el tiempo de permanencia del experimento, lo que es coherente con los resultados de Radulovich *et al.* (2015), quienes plantean que las zonas donde se cultivan algas marinas se incrementa el número de especies, así como de sus ejemplares.

La disminución de la supervivencia de *Kappaphycus* con el aumento de la profundidad fue progresiva (**Figura 3**). Aunque el movimiento del agua facilita una elevada tasa de crecimiento en zonas someras (Russel, 1983) y la intensidad luminosa es mayor, posiblemente la baja intensidad del pastoreo sea la causa principal del elevado crecimiento logrado. Así, a 0.5 m de profundidad, con una constante acción del oleaje y un acceso limitado, el pastoreo disminuye (Adey *et al.*, 1977; Connor

& Aday, 1977) y se registra el mayor aumento en biomasa. En las praderas de *Thalassia testudinum*, con una menor afectación por el oleaje, se asume que la presencia de juveniles de loros sea la causa de los bajos ritmos de pastoreo (Lewis, 1986; Boaventura *et al.*, 2002). Ambas zonas (4 y 5), con los menores ritmos de pastoreo, actúan como refugios, donde las algas logran aumentar de peso y permanecer (Lewis, 1986).

Una expresión en la tendencia analizada, fue el herbivorismo registrado en la profundidad de 5 m en la pendiente arrecifal, la cual presenta una gran cantidad de refugios y una presencia mayor de herbivorismo (**Figura 3**). En 10 metros de profundidad, la tasa de crecimiento de los ejemplares fue mayor que en 15 metros, lo cual hace pensar que la intensidad lumínica en esta última profundidad sea insuficiente para su actividad fotosintética (Hung *et al.*, 2019). La pérdida de peso observada en 15 m permitió comprobar que esta profundidad es crítica para la supervivencia de *Kappaphycus*. El mal estado fisiológico detectado, unido a las pocas huellas de ramoneo observadas, sugieren que los herbívoros no constituyen el factor regulador a esta profundidad. Russel (1983) encontró pocos ejemplares saludables por debajo de los 17 m. Este mismo autor halló una significativa disminución en el ritmo de crecimiento entre 0.5 y 1.5 m de profundidad y que por debajo de los 6 m *Kappaphycus* eventualmente muere.

El crecimiento y la supervivencia de *Kappaphycus* observados en la pendiente arrecifal, pueden quedar explicados por la disminución de la diversidad de peces herbívoros (Lewis & Wainwright, 1985; Vincent *et al.*, 2011), y con el ritmo de consumo en la profundidad (Hay, 1981a; Hay, 1981b). Ambos factores producen una disminución del gradiente de herbivorismo con la profundidad. Esto podría favorecer la supervivencia de *Kappaphycus*, pero la pérdida de peso que presentan sus ejemplares con el aumento de la profundidad bajo la acción de factores como la disminución del movimiento del agua (Russel, 1983; Hay, 1981b) sugiere que en las zonas profundas del arrecife queda limitada su supervivencia.

Los resultados obtenidos confirman la eficiente barrera que pueden ser los herbívoros, no solo para la supervivencia, sino también para la persistencia y propagación no controlada de la especie en las zonas del arrecife. Los herbívoros constituyen los mayores bioerosionadores del arrecife (Borowitzka & Larkum, 1986; Burkepile & Hay, 2008) jugando un papel importante en la distribución y abundancia de las especies vegetales marinas (Lewis, 1986). Incluso, Suchley & Álvarez-Filip (2017) plantean que la estructura del arrecife actual existe desde que aparecieron los peces herbívoros como controladores de algas.

Aunque se ha relacionado la presencia de *K. alvarezii* con una disminución en la densidad y diversidad de peces nativos (Neilson *et al.*, 2018), nuestros resultados corroboran que estos consumen activamente los talos de la especie y los ensayos indicaron que *Kappaphycus* pudo

integrase a la biocenosis arrecifal en el primer nivel de la cadena trófica, de tal modo que, cuando los ensayos de cultivo fueron abandonados después de una década, la especie desaparece. Ello indica que, a escalas espaciales y temporales reducidas, los peces herbívoros pueden controlar el crecimiento de estas macroalgas, mientras que, en escalas más grandes y prolongadas, tanto el aporte de nutrientes, la desaparición de herbívoros por debajo de umbrales críticos y la naturaleza de los procesos ecológicos y fitoculturales que tienen lugar, promueven su proliferación (Mumby *et al.*, 2007), o provocar su desaparición (Ebenman *et al.*, 2004).

5 CONCLUSIONES

El género *Kappaphycus* permanece viable y es capaz de aumentar su biomasa solo en algunos fondos someros donde coinciden bajos ritmos de herbivorismo y adecuada intensidad lumínica y movimiento del agua.

Las zonas someras comparadas se segregaron en dos grupos en relación a la presión de los herbívoros. Uno con gran presión, donde como norma general los ejemplares perdían peso y otro con baja presión donde aumentaban peso. De todos los biotopos, la meseta arrecifal fue el que presentó mayor intensidad de herbivorismo.

La supervivencia de *Kappaphycus* varía con la profundidad y depende tanto de factores bióticos como abióticos. Cuando la presión de herbivorismo es lo suficientemente intensa, no sobrevive. Este fenómeno fue comprobado a cinco metros de profundidad. La supervivencia de *Kappaphycus* también se ve limitada en profundidades de 10 y 15 m. En ellas, las bajas intensidades lumínicas y quizás un movimiento más restringido del agua juegan un importante papel en su supervivencia.

Los resultados indican que las algas introducidas se insertaron en la cadena de alimentación de los herbívoros de la zona y, por tanto, están sometidos a controles biológicos similares a las especies autóctonas.

Tabla I. Variación media diaria de la biomasa, expresada en (g día⁻¹) y el porcentaje (en relación al peso inicial) de *K. striatus* de coloración roja y *K. alvarezii* con coloraciones parda y verde a causa del herbivorismo en diferentes zonas del arrecife.

Zonas del Arrecife	VERDE		PARDA		ROJA	
	g/día	%	g/día	%	g/día	%
Meseta arrecifal	-2.26	9.51	-6.04	25.78	-7.5	32.28
Rocas sin vegetación	-1.17	4.87	-4.10	16.63	-5.13	23.06
Rocas con vegetación	0.63	2.68	0.62	2.79	1.62	7.23
<i>Thalassia testudinum</i>	0.73	3.15	0.59	2.48	0.73	3.31

REFERENCIAS

- Adey, W., Glodfelter, W., Ogden, J., Dill, R. (1977). Field guide book to the reefs and reef communities of St. Croix, Virgin Islands. Third International Symposium on Coral Reefs. Atlantic Reef Committee, University of Miami, Miami, Florida, USA.
- Areces A.J. (1995). Cultivo de algas carragenófitas del género *Kappaphycus*. [p. 529-550]. En: Manual de Métodos Ficológicos. Alveal, K., Ferrario, M. E., Oliveira, E. C. & Sar, E. [Eds.]. Editorial Ciencia, Univ. de Concepción, Chile, 590 p.
- Areces, A. J., Álvarez Villanueva, F.C., Bernardi, J., Cabrera, R. (2014). Ecological risk assessment of the introduction of exotic carrageenophytes in the tropical Western Atlantic. *Journal of Applied Phycology*, 26 (5), 2055–2063. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0385-4>
- Areces, A. J., Céspedes, N. (1992). Potencialidad productiva de algunas carragenófitas del Indopacífico en aguas del Caribe. *Boletín de la Red Acuicultura (Colombia)*, 6 (2),13-16.
- Begon, M., Harper, J., Colin, L., Townsend, R. (1999). *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. BIOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA VIDA . Ediciones Omega, 900 p.
- Berovides, V. (1988). El enriquecimiento de la fauna y su relación con la conservación de la naturaleza. Editorial de la Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, 22 p.
- Bertocci, I., Sousa-Pinto, I., Duarte, P. (2017). Spatial variation of reef fishes and the relative influence of biotic and abiotic habitat traits. *Helgoland Marine Research*, 71, 20 <https://doi.org/10.1186/s10152-017-0500-4>
- Boaventura, D., Matthew, A., Della Santina, P., Smith, N. D., Ré, P., da Fonseca, L., Hawkins, S. J. (2002). The effects of grazing on the distribution and composition of low-shore algal communities on the central coast of Portugal and on the southern coast of Britain. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 267, (2), 185-206. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(01\)00372-0](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(01)00372-0)
- Borowitzka, M. A., Larkum, A. W. D. (1986). Reef Algae. *Oceanu*, 29, (2), 49-54.
- Burkepile, D. E., Hay, M.E. (2008). Herbivore species richness and feeding complementarity affect community structure and function on a coral reef. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 105(42), 16201–16206. <https://doi.org/10.1073/pnas.0801946105>
- Carlson, R. R., Evans, Luke. J., Foo, S. A., Grady, B. W., Li, J., Seeley, M., Xu, Y., Asner, G. P. (2021). Synergistic benefits of conserving land-sea ecosystems, *Global Ecology and Conservation*, 28, e01684. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01684>
- Carpenter, R. C. (1986). Partitioning herbivory and its effects on coral reef algal communities. *Ecological Monographs*, 56, 345–364. <https://doi.org/10.2307/1942551>
- Choat, J. H. (1991). The biology of herbivorous fishes on coral reef. [p. 96-119]. En: Sale, P. F [Ed.]. *The Ecology of Fishes on Coral Reefs*. Academic Press, San Diego, USA.
- Claro, R., Sadovy de Mitcheson, Y., Lindeman, K.C., García-Cagide, A.R. (2009). Historical analysis of Cuban commercial fishing effort and the effects of management interventions on important reef fishes from 1960–2005. *Fisheries Research*, 99 (1), 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2009.04.004>

Conklin, E.J., Smith, J.E. (2005). Abundance and spread of the invasive red algae, *Kappaphycus* spp., in Kāneʻohe Bay, Hawaiʻi and an experimental assessment of management options. *Biological Invasions*, 7 (6), 1029–39.

Connor, J., Aday, W. (1977). The benthic algal composition, standing crop and productivity of a Caribbean algal ridge. *Atoll Research Bulletin*, 211, 1-40. <https://doi.org/10.5479/si.00775630.211.1>

Cordeiro, C. A. M. M., Harborne, A.R., Ferreira, C. E. L. (2020). The Biophysical Controls of Macroalgal Growth on Subtropical Reefs. *Frontiers in Marine Science*, 7, 488. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00488>

Duffy, J. E., Hay, M. E. (1990). Seaweed adaptations to herbivory. *BioScience*, 40 (5), 368-375. <https://doi.org/10.2307/1311214>

Ekman, P., Yu, S., Perdensen, M. (1991). Effect of altered salinity, darkness and algal nutrient status on floridoside and starch content, α -galactosidase activity and agar yield of cultivated *Gracilaria sordida*. *British Phycological Journal*, 26, 132-132.

Gasche, L., Gascuel, D., Shannon, L., Shin, Y. J. (2012). Global assessment of the fishing impacts on the Southern Benguela ecosystem using an EcoTroph modelling approach. *Journal of Marine Systems*, 90 (1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2011.07.012>

Hay, M. E. (1981a). Herbivory, algal distribution, and the maintenance of between-habitat diversity on a tropical fringing reef. *American Naturalist*, 118, 520-540.

Hay, M. E. (1981b). Spatial patterns of grazing intensity on Caribbean barrier reef: herbivory and algal distribution. *Aquatic Botany*, 11, 97-109.

Hay, M. E., J. R. Pawlik, J. R., Duffy, J. E., Fenical, W. (1989). Host-plant specialization reduces predation on small herbivores: seaweed-herbivore-predator interactions. *Oecologia*, 81, 418-427. <https://doi.org/10.1007/BF00377093>

Hung, L.D., Hori, K., Nang, H.Q., Kha, T., Hoa, L. T. (2019). Seasonal changes in growth rate, carrageenan yield and lectin content in the red alga *Kappaphycus alvarezii* cultivated in Camranh Bay, Vietnam. *Journal of Applied Phycology*, 21, 265–72. <https://doi.org/10.1007/s10811-008-9360-2>

Inderjit, C., Chapman, D., Ranelletti, M., Kaushik, S. (2006). Invasive Marine Algae: An Ecological Perspective. *Botanical Review*, 72, (2), 153-178.



Kasim, M., Balubi, A. M., Mustafa, A., Nurdin, R., Patadjai, R. S., Jalil, W. (2020). Floating Cage: A New Innovation of Seaweed Culture. [p.103-118]. En: Ed. Qian Lu & Mohammad Serajuddin [Eds.]. *Emerging Technologies, Environment and Research for Sustainable Aquaculture*. London, United Kingdom. 138 pp. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.82887>

Lewis, S. M. (1986). The role of herbivorous fishes in the organization of a Caribbean reef community. *Ecological Monographs*, 56 (3), 183–200.

Lewis, S. M., Wainwright, P. C. (1985). Herbivore abundance and grazing intensity on a Caribbean coral reef. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 87, 215-228.

- Mumby, P. J., Hastings, A., Edwards, H. J. (2007). Thresholds and the resilience of Caribbean coral reefs. *Nature*, 450 (7166), 98–101. <https://doi.org/10.1038/nature06252>
- Neilson, B. J., Wall, C.B., Mancini, F.T., Gewecke, C.A. (2018). Herbivore biocontrol and manual removal successfully reduce invasive macroalgae on coral reefs. *PeerJ*, 6, e5332. <https://doi.org/10.7717/peerj.5332>
- Odden, J. C., Brown, R. A., Salcsky, N. (1976). Some aspects of herbivore plant relationships on Caribbean reefs and seagrass beds. *Aquatic Botany*, 2, 103-106.
- Radulovich, R., Umanzor, S., Cabrera, R., Mata, R. (2015). Tropical Seaweeds for Human Food, Their Cultivation and Its Effect on Biodiversity Enrichment. *Aquaculture*, 436, 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.10.032>
- Randall, J.E. (1967). Food habits of reef fishes of the West Indies. *Stud. Trop. Oceanogr*, 5, 665-847.
- Russel, D. J. (1983). Ecology of the imported red seaweed *Euchema striatum* Schmitz on Coconut Island, Oahu, Hawaii. *Pacific Science*, 37 (2), 87-107. <http://hdl.handle.net/10125/650>
- Salo, P., Korpimäki, E., Banks, P. B., Nordström, M., Dickman, C. R. (2007). Alien predators are more dangerous than native predators to prey populations. *Proceedings. Biological sciences*, 274 (1615), 1237–1243. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.0444>
- Serpa-Madrugal, A., Areces, A. J. (1998). Influencia de algunos factores fitotécnicos en la actividad de los herbívoros sobre el cultivo de *Kappaphycus Doty* (Gigartinales: Rhodophyta) en el ecosistema arrecifal caribeño. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*, 37 (1&2), 63-68.
- Serpa-Madrugal, A., Areces, A. J., Cano, M., Bustamante, G. (1997). Depredación sobre las carragenofitas comerciales *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty y *Kappaphycus striatum* (Schmitz) Doty (Rhodophyta, Gigartinales) Introducidas en Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 18, 65-69.
- Stamoulis, K., Friedlander, A., Meyer, C., Fernández-Silva., Toonen, R. J. (2017). Coral reef grazer-benthos dynamics complicated by invasive algae in a small marine reserve. *Scientific Reports*, 7, 43819. <https://doi.org/10.1038/srep43819>
- STATSOFT, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.
- Suchley, A., Alvarez-Filip, L. (2017). Herbivory facilitates growth of a key reef-building Caribbean coral. *Ecology and evolution*, 7 (24), 11246–11256. <https://doi.org/10.1002/ece3.3620>
- Van Alstyne, K. L., Ehlig, J.M., Whitman, S. L. (1999). Feeding preferences for juvenile and adult algae depend on algal stage and herbivore species. *Marine Ecology Progress Series*, 180, 179–85. <http://www.jstor.org/stable/24852100>
- Van den Hock, C., Breeman, A. M., Bak, R. P. M., Van Burrt, G. (1978). The distribution of algae, corals, and gorgonians in relation to zonation of coral and gorgonians. *Aquatic Botany*, 1, 269-308.
- Vincent, I. V., Hincksman, C. M., Tibbetts, I. T., Harris, A. (2011). Biomass and Abundance of Herbivorous Fishes on Coral Reefs off Andavadoaka, Western Madagascar. *Western Indian Ocean. Journal of Marine Science*, 10, 1, 83-99.

CAMBIOS MORFOLÓGICOS DE *Kappaphycus alvarezii* COMO ESTRATEGIA ADAPTATIVA ANTE LA PRESIÓN POR HERBIVORÍA ÍCTICA

  10.56238/livrosindi202407-004

Jhoana Díaz-Larrea

Unidad Iztapalapa, Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, México

Miriam Vilaragut García

Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba

Mercedes Cano

Departamento de Biología Marina, Instituto de Oceanología, CITMA 1ra Ave, La Habana, Cuba

Ricardo Cruz-Aviña

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Fauna Silvestre. Laboratorio de Medicina de la Conservación, México

RESUMEN

Para conocer la evolución de los ejemplares de la cepa parda de *Kappaphycus alvarezii* ante el efecto del pastoreo, se diseñaron dos experimentos con una duración anual, en los cuales dicho efecto se consideró el factor de cambio. Los experimentos se realizaron en el medio natural, utilizándose los sistemas de sujeción tradicional para el cultivo de estas algas. Como control se empleó un cerco de malla de polipropileno para evitar el herbivorismo y como referencia experimental se usaron estructuras de cultivo sin cerco de protección. Los efectos contrastados sobre la especie fueron: variaciones de su morfología, variaciones de la tasa de crecimiento, variaciones del consumo, así como cambios en la concentración de carragenina. Se observó una separación de efectos y se comprobó que los peces herbívoros incidieron tanto en las variaciones morfológicas, como en la tasa de crecimiento, relacionándose ambos efectos con la acumulación de carragenina en el talo. En ejemplares con variaciones morfológicas significativas a causa del herbivorismo, se constató una disminución de la tasa de crecimiento y fue comprobada que la concentración de carragenina resulta mayor. Por ello la tasa de crecimiento de la cepa parda con forma redondeada fue siempre menor que cuando su morfología era la habitual.

Palabras-clave: Variaciones morfológicas, Morfotipos, Herbivoría íctica.

SUMMARY

To study the evolution of the brown strain of *Kappaphycus alvarezii* in response to grazing, two year-long experiments were designed, in which grazing was considered the changing factor. The experiments were conducted in the natural environment, with traditional support systems for the cultivation of these algae being used. Culture structures devoid of protection by a polypropylene mesh fence were used as experimental reference. In a near place, same structures but protected with polypropylene mesh fence were used as control. The proven effects on the species were variations in morphology, changes in growth rate, alterations in consumption, as well as changes in carrageenan concentration. Separate effects were observed and it was found that herbivorous fish influenced both morphological variations and growth rate, with both effects being related to the accumulation of carrageenan in the thallus. Specimens with significant morphological variations due to grazing showed lower growth rate and higher carrageenan concentration. Therefore, the growth rate of the brown strain with rounded shape was always lower than when its morphology was normal.

1 INTRODUCCIÓN

De manera general, las variaciones morfológicas de las algas constituyen no sólo un reflejo de éxito o de estrés en su hábitat, sino también un producto de su adaptación (Fogg, 2001). Y en la mayoría de los casos, una gran parte de estas variaciones se deben a factores ecológicos (Marshall, 1987).

En ambientes arrecifales son los herbívoros en su función reguladora (Borowitzka & Lankum, 1986), los que inducen cambios morfológicos visibles en los vegetales, y contribuyen al aumento o disminución de la biodiversidad en el ecosistema (Dawes, 1986). A pesar de esta presión, las algas persisten en lugares donde los herbívoros manifiestan actividad intensa, lo que ha conducido a la evolución de características defensivas antidepredadores tales como la dureza del vegetal y la presencia de tejidos con sustancias tóxicas. Todo esto ha conllevado a la evolución de formas menos agradables al paladar de los herbívoros (Little & Little, 1980).

La carragenofita *Kappaphycus alvarezii* fue introducida en Cuba desde Filipinas debido a sus altos rendimientos productivos, con el fin de ser cultivada comercialmente. Las especies foráneas constituyen un factor ecológico detonante, si no pueden integrarse a la cadena trófica, sobre todo cuando los organismos que se alimentan de ellas, no las aceptan por alguna razón (Kumar & Singh, 2020).

Por tal motivo, han sido varios los intentos por conocer los efectos que esta especie puede inducir en los ecosistemas autóctonos (Kamalakaran *et al.*, 2014). Un buen ejemplo resulta el análisis de las consecuencias que los peces herbívoros pueden provocar a cultivos experimentales, cuando las características del medio son diferentes en cuanto a biodiversidad y composición de especies focales. El hecho ha sido estudiado en buena parte de los experimentos realizados con vista a determinar el impacto ecológico potencial que esta introducción en la plataforma insular cubana pudiera ocasionar (Serpa- Madrigal *et al.*, 1997).

En los resultados expuestos a continuación se valora la magnitud de los cambios morfológicos, producto del herbivorismo, que son inducidos a causa de esta depredación y como podrían afectar la producción de biomasa en los soportes habituales de cultivo, en este caso cuerdas suspendidas sobre estacas. Del mismo modo, se expone la variación en los niveles de carragenina ante el efecto del ramoneo íctico.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 SITIO DE ESTUDIO

El estudio se realizó durante un año en el sitio conocido como Playa Viriato, ubicado al norte del litoral de La Habana, Cuba ($23^{\circ} 6' 0''$ N y $82^{\circ} 28' 0''$ W). Este sitio se caracteriza por ser una zona semicerrada protegida artificialmente, en la cual se estableció una granja experimental de *Kappaphycus alvarezii* (**Figura 1**). Para los dos experimentos de cultivo diseñados se seleccionaron los ejemplares de la cepa parda de *K. alvarezii*.

Figura 1. Enclave del área del trabajo sin el proceso de asimilación que posteriormente tuvo lugar en sus inmediaciones.



Fuente: Areces *et al.*, (2023).

2.2 COLECTA

Los ejemplares fueron colectados de forma aleatoria en las balsas flotantes de la granja. Los mismos fueron seleccionados con una biomasa inicial aproximada de 100 g, justo al inicio de cada experimento. Los ejemplares se escurrieron durante 15 minutos, antes de ser pesados, escardados y llevados a peso exacto, empleándose para ello una balanza técnica de 0.1 gramos de precisión.

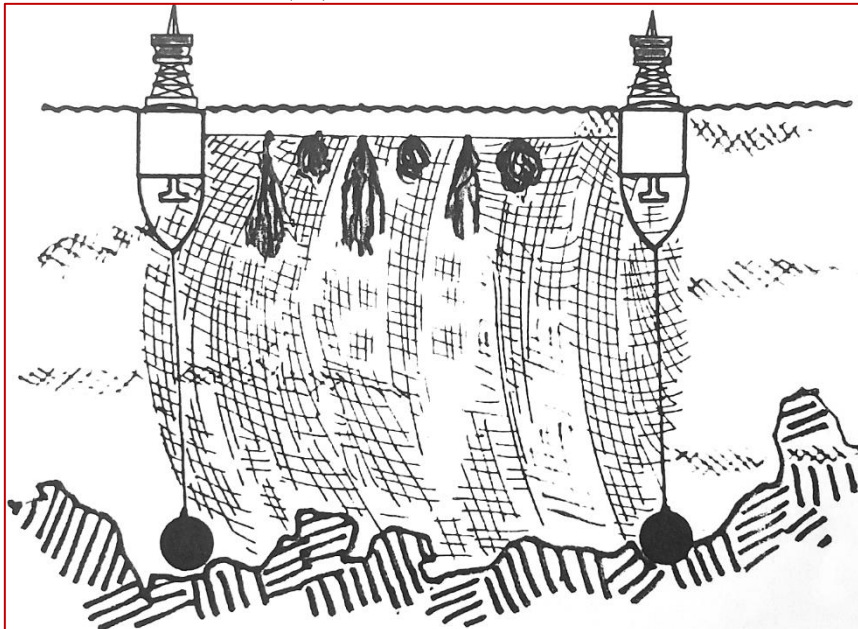
2.3 INFLUENCIA DEL HERBIVORISMO SOBRE LA MORFOLOGÍA

Para comprobar que los cambios morfológicos producidos en *K. alvarezii* eran ocasionados por el pastoreo íctico, se ataron en cada una de las tres cuerdas de polipropileno usadas por tratamiento, cinco ejemplares separados 20 cm entre sí. Este procedimiento fue realizado de acuerdo a la descripción metodológica referida por Areces (1995), según la forma tradicional de su cultivo en cuerdas sobre estacas.

2.3.1 Sin influencia directa de herbívoros. Experimento 1. (E1)

Tres de estas cuerdas (n=15), fueron ubicadas en una zona resguardada de la herbivoría íctica mediante protección con un cerco de malla de 20 mm de luz, (Figura 2, E1).

Figura 2. Ejemplares de *Kappaphycus alvarezii* cultivados en cuerdas de sujeción protegidas del acceso de peces herbívoros en el interior de un cerco de malla (E1).

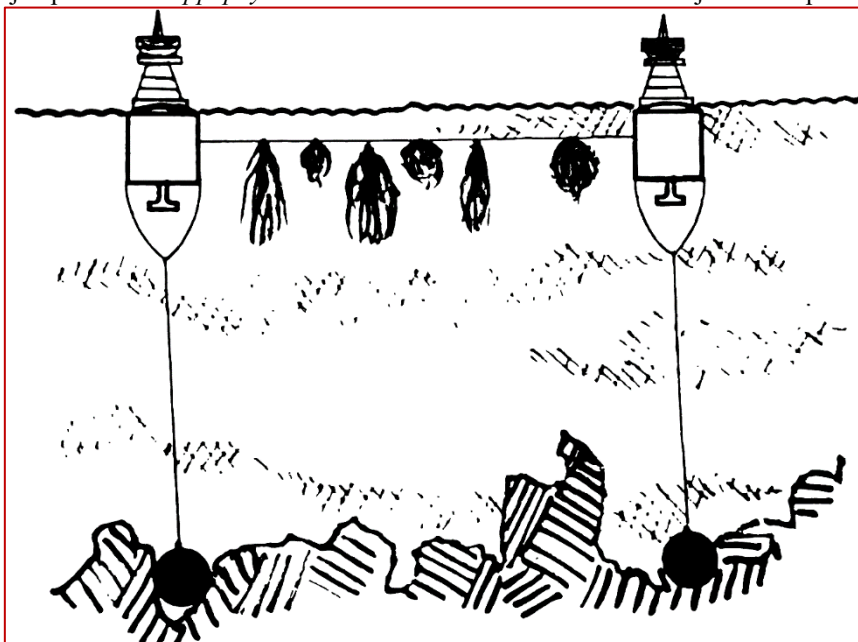


Fuente: Autoría propia.

2.3.2 Con influencia directa de herbívoros. Experimento 2. (E2)

Con el mismo número de ejemplares (n=15), las cuerdas se colocaron de forma tal que no estuviesen protegidas de los ictiófagos por ninguna barrera física (Figura 3, E2).

Figura 3. Ejemplares de *Kappaphycus alvarezii* cultivados en cuerdas de sujeción sin protección (E2).



Fuente: Autoría propia.

En ambos experimentos, las cuerdas fueron convenientemente ancladas con boyas en los extremos. Ambos sitios se ubicaron en fondos similares y sin complejidad estructural notable siguiendo el criterio de (Serpa-Madrigal *et al.*, 1997). Las cuerdas se situaron aproximadamente a 1.5 metros del fondo. Al cabo de un mes, durante un ciclo anual, los ejemplares se recogieron, se pesaron y se fotografiaron. El peso final de cada ejemplar se determinó, calculándose la variación del peso a través de la tasa de crecimiento relativa (TCR) (Yong *et al.*, 2013).

$$TCR = \frac{\ln(Pf-Pi)}{t} \times 100$$

Donde: Pf = Peso final, Pi= Peso inicial y t= tiempo de duración.

2.4 EFECTOS DE LA VARIACIÓN MORFOLÓGICA SOBRE LA TASA DEL HERBIVORISMO Y EL RITMO DE CRECIMIENTO

Para determinar el efecto que ocasionan las variaciones morfológicas de *K. alvarezii* sobre el ramoneo y el ritmo de crecimiento, se colocaron de forma alterna sobre dos cuerdas, bajo las mismas condiciones en cuanto a anclaje y profundidad del cultivo de los experimentos anteriores, cinco ejemplares provenientes del (E1) e igual cantidad del (E2). Las cuerdas se situaron sobre un fondo rocoso donde el grado de complejidad del sustrato era mayor así como la presión de herbivorismo. Pasadas 24 horas las cuerdas se recogieron, y se le determinó el peso a cada uno de los ejemplares. Este proceso experimental se repitió durante cinco días sucesivos. Posteriormente se determinó la TCR y la tasa de consumo diario (TCD*) de los ejemplares de acuerdo con las recomendaciones de Dawes *et al.*, (1994) .

$$TCD* = \frac{Pf-Pi}{Pi} \times \frac{100}{t}$$

Donde: Pf = Peso final, Pi= Peso inicial y t= tiempo de duración.

2.5 RELACIÓN ENTRE EL HERBIVORISMO Y LA MORFOLOGÍA

Para evaluar la relación existente entre el ritmo de consumo por parte de los herbívoros y la morfología que adquiere el alga, fueron colocados en el lugar adonde tuvo lugar el experimento E2 cinco ejemplares con el morfotipo típico de la especie. Diariamente, se determinó el peso de los ejemplares, los cuales fueron nuevamente colocados en el mar. El experimento se extendió por 18 días, y se evaluó la (TCD*)

2.6 EVOLUCIÓN DEL CRECIMIENTO EN EJEMPLARES CON EL MORFOTIPO TÍPICO DE LA ESPECIE Y EL MORFOTIPO REDONDEADO

Para comparar las tasas de crecimiento entre ejemplares provenientes de los experimentos **E1** y **E2**, estos se intercalaron en las cuerdas. Aunque se ataron de la manera tradicional, una cinta de color permitió identificarlos según el tratamiento correspondiente, ya fuese **E1** o **E2**. El peso se controló cada dos días. Este procedimiento tuvo una duración de 18 días y se utilizaron 5 unidades experimentales procedentes de cada experimento.

2.7 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CARRAGENINA EN EJEMPLARES CON MORFOTIPO NORMAL Y MORFOTIPO REDONDEADO

La determinación de la concentración de kappa carragenina en los ejemplares de los experimentos **E1** y **E2**, se realizó según la metodología de Chopin & Whalen (1993), empleándose 3 gramos de biomasa seca compuesta, con dos replicas por tratamiento, obtenidas en muestras de **E1** y **E2**.

2.8 PROCESAMIENTO DE ESTADÍSTICO

Para el cálculo de la tasa de crecimiento relativo (TCR) de los ejemplares se usó la expresión descrita por Hasting & Gutknecht (1976) y se determinó la tasa de consumo diaria (TCD *), según la fórmula desarrollada por Dawes *et al.*, (1994). Esta última se empleó ya que acepta tanto valores positivos como negativos. Los valores negativos indican la pérdida del peso por efecto del pastoreo, mientras que los valores positivos representan el aumento de biomasa, expresándose en porcentaje (%).

Para comparar la concentración del polisacárido tipo kappa carragenano se empleó un análisis de varianza (ANOVA). El resto de los parámetros evaluados no cumplieron con la presunción de normalidad, y se les aplicó siempre que resulto necesario la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney descrita por Siegel (1976).

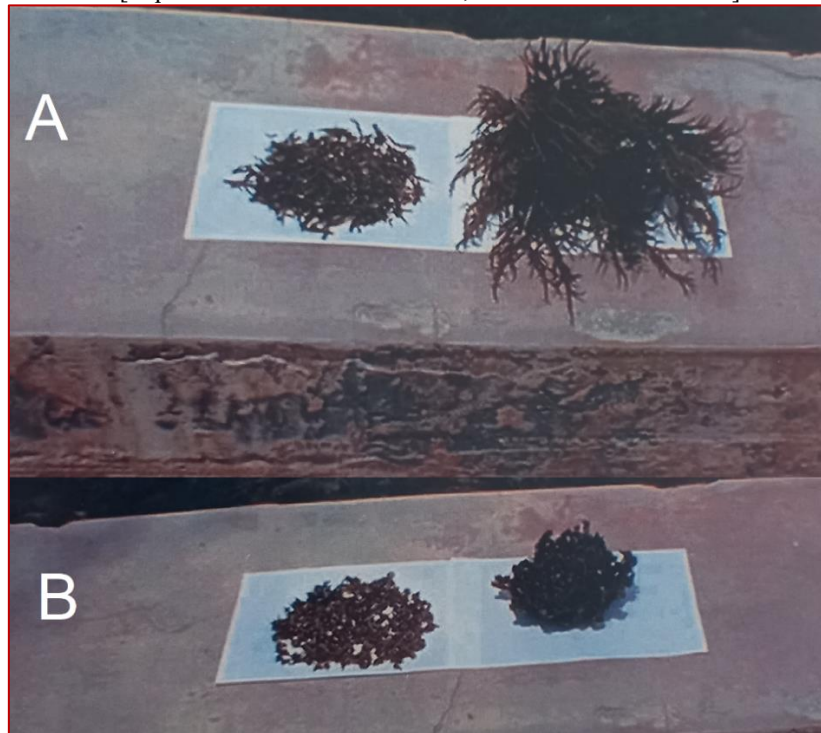
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 INFLUENCIA DEL HERBIVORISMO SOBRE LA MORFOLOGÍA

Los morfotipos registrados en el estudio fueron conservados en herbario, y fotografiados cuando aún estaban frescos (**Figura 4**). El cambio que experimenta la estructura vegetativa de *Kappaphycus* en la zona protegida es coherente con los resultados de Dethier (1981), quienes observaron que las formas erectas de las especies filamentosas que habitan en la zona intermareal durante estaciones desfavorables, aparecían solamente en lugares protegidos del ramoneo. Este hecho

fue corroborado también por Little & Little (1980) quienes demostraron que la morfología de las algas está relacionada estrechamente con factores ecológicos como la depredación.

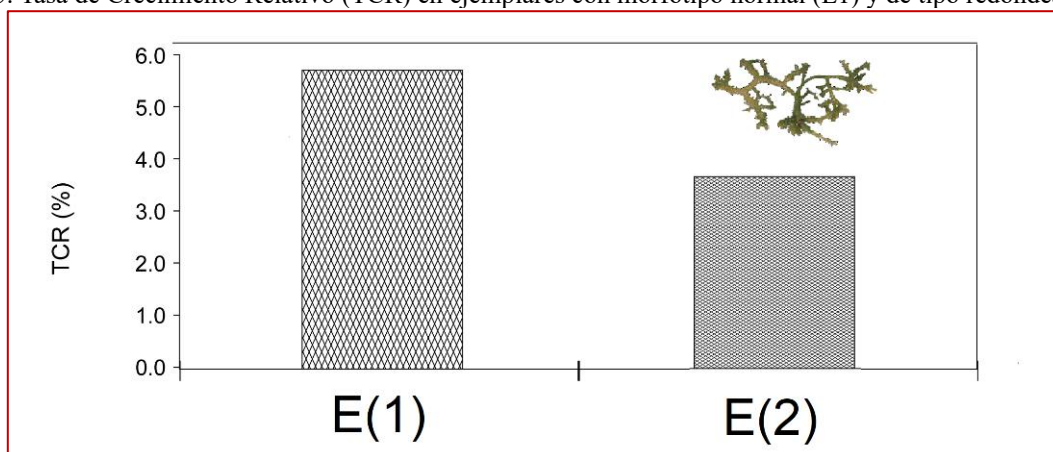
Figura 4. Ejemplares de la cepa parda de *Kappaphycus alvarezii*. A, cepa con forma habitual ubicada en la zona protegida de ictiófagos (E1). Nótese sus ápices normales. [izquierda: material herborizado, derecha: material fresco]. B, cepa con forma redondeada y concrecente, con ramas semianastomosadas, ubicada en la zona no protegida de ictiófagos (E2). Nótese sus ápices redondeados. [izquierda: material herborizado, derecha: material fresco].



Fuente: Autoría propia.

Los valores de las TCR obtenidas en ambos experimentos (**E1** *vers* **E2**) mostraron también diferencias significativas ($p < 0.05$) (**Figura 5**). Con respecto a los ejemplares redondeados, los que presentaron un hábito “normal” tuvieron una tasa de crecimiento significativamente mayor (**E1**; 5.25% *vers* **E2**; 2.99%).

Figura 5. Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) en ejemplares con morfotipo normal (E1) y de tipo redondeado (E2).



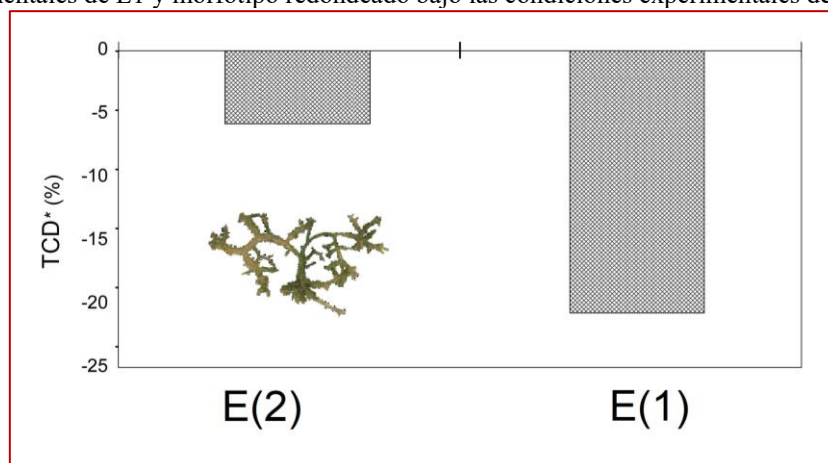
Fuente: Autoría propia.

Dichos resultados coinciden con Cano & Calderón (1996), quienes demostraron la existencia de una pérdida sustancial de biomasa en los especímenes de *Kappaphycus* ubicados fuera del cerco de mallas, en el área experimental. Este hecho conllevó una reducción de la biomasa de los ejemplares sembrados a su tercera parte con un promedio de -3,6 % de pérdidas. en sólo 10 días. Kasim *et al.*, (2020), demostraron también que los cultivos en cajas permiten un mayor crecimiento, lo que sería análogo a los resultados obtenidos con el cerco de mallas, en cuyo interior los ejemplares son muy robustos a consecuencia de la poca pérdida de biomasa. Un experimento similar, pero con el empleo de estructuras de sujeción sobre cuerdas (modalidad desprotegida) y en jaulas (modalidad protegida) fue realizado por R. Cabrera, (datos inéditos) en Costa Rica. Dicho autor encontró también que, a diferencia de la cepa parda, la cepa verde empleada en sus estos experimentos resulto menos susceptible al consumo por herbívoros.

3.2 EFECTOS DE LA VARIACIÓN MORFOLÓGICA SOBRE LA TASA DE HERBIVORÍA Y EL RITMO DE CRECIMIENTO

Al comparar el ritmo de consumo de los ejemplares, se encontraron diferencias entre (E1: -21.86 %) y (E2: - 5.41%), con un nivel de significación de $p < 0.05$, (Figura 6).

Figura 6. Tasa de Consumo Diario (TCD*) en ejemplares de *Kappaphycus alvarezii* con morfotipo normal en las condiciones experimentales de E1 y morfotipo redondeado bajo las condiciones experimentales de E2.



Fuente: Autoría propia.

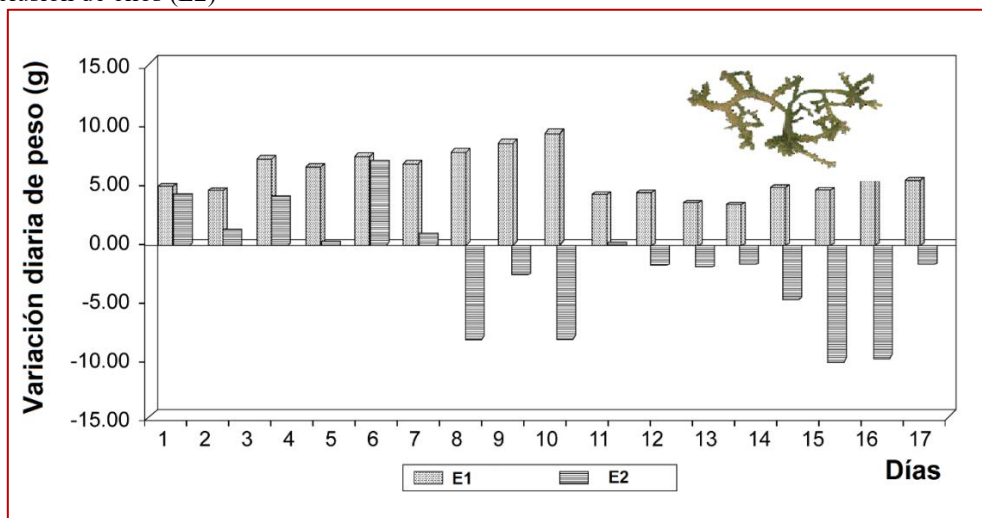
En estudios anteriores se ha comprobado que la pérdida de biomasa que ocasionan los peces herbívoros a ejemplares de *Kappaphycus* cultivados constituyen una consecuencia de la pérdida total de los ápices (Serpa & Madrigal, 1997). Es conocido que las partes jóvenes de los vegetales además de ser más blandas son también las más nutritivas (Duffy & Hay, 1990), y los peces seleccionan muchas veces las partes que van a ingerir por la calidad nutricional que tienen (Hay *et al.*, 1988).

Si se tiene en cuenta que los ejemplares de la cepa parda de forma normal son los que presentan los ápices puntiagudos, y los principales fitófagos existentes en la zona son representantes del género *Achanthurus*, único observado por Serpa-Madrigal (*com. pers*), es de suponer que sea dicho género el responsable en mayor proporción de provocar un redondeo como respuesta al ramoneo. Ello es consistente con lo sugerido por Claro & García-Arteaga (1994) quienes aseguran que son estos peces los que mayor biomasa algal consumen en los arrecifes coralinos. Por otra parte, Hay (1991: p. 110) considera que: "... la morfología de la boca y el poder de la dentadura de los peces herbívoros está muy ligada a la conducta de forrajeo..."

3.3 RELACIÓN ENTRE EL HERBIVORISMO Y LA MORFOLOGÍA

Cuando se comparan los resultados de la variación del peso diario (**Figura 7**), puede apreciarse que en los primeros días del experimento hubo una fluctuación del peso por parte de los ejemplares involucrados en el **E2**, hasta el décimo día. Después de este periodo, la pérdida se hizo cada vez mayor en los ejemplares del **E2**, a tal punto que, no fue posible su recuperación.

Figura 7. Variación diaria del peso de los ejemplares de *Kappaphycus alvarezii* cultivados con exclusión de ictiófagos (E1) y sin exclusión de ellos (E2)



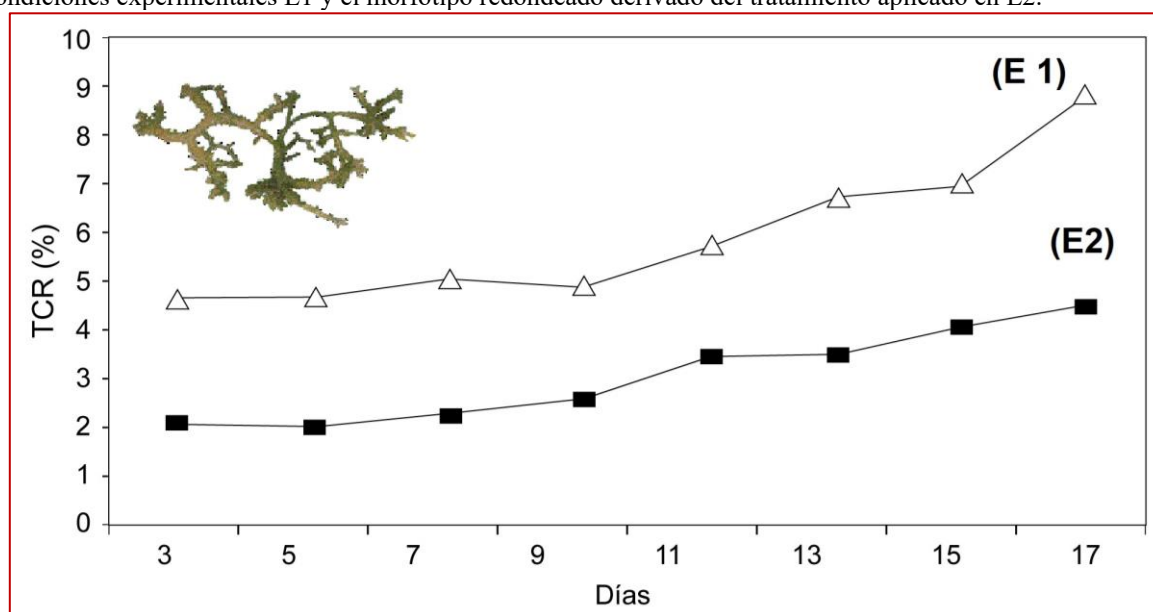
Fuente: Autoría propia.

3.4 EVOLUCIÓN DEL CRECIMIENTO EN EJEMPLARES CON MORFOTIPO NORMAL Y MORFOTIPO REDONDEADO

En la **Figura 8**, se reflejan los resultados de la tasa de crecimiento diario (TCR %), de los morfotipos, analizados, la cual muestra diferencias significativas ($p < 0.05$). En las condiciones experimentales de **E1**, los valores fluctuaron entre 4.75 y 9.29 %, y bajo las condiciones de **E2**, varió entre 2.14 y 4.71 %. La tendencia de la curva fue hacia un aumento del peso de los ejemplares, sin embargo, el crecimiento en los especímenes sin exclusión de herbívoros (**E2**), fue más lento.

En los primeros 9 días experimentales, se aprecia en ambos tratamientos experimentales (E1 y E2), que las diferencias entre los ritmos de crecimiento fueron menores que en el resto de los días. Lobbar & Harrison (1994) refieren que las formas erectas tienen la capacidad de regenerarse cuando los vástagos se han perdido por la acción de los e fitófagos. Por tal razón, es de suponer que el crecimiento ocurra con mayor rapidez en ejemplares con su morfotipo habitual que en aquellos de morfotipo redondeado ya que al afectarse por efecto del pastoreo el metabolismo vegetal, este debe movilizar una mayor cantidad de sustancias y metabolitos para su regeneración, entre ellas, las hormonas responsables de la reparación celular Lobbar & Harrison (1994). Debido a este fenómeno, es comprensible que la biomasa algal dependa en última instancia de una relación dinámica establecida entre la fuerza destructiva causada por la abrasión, sin importar su causa, y el intervalo de tiempo en que tiene lugar la reconstrucción y reposición de biomasa generada por la producción primaria neta del vegetal Steneck & Dethier (1994).

Figura 8. Evolución del crecimiento en ejemplares de *Kappaphycus alvarezii* con el morfotipo habitual de la especie en las condiciones experimentales E1 y el morfotipo redondeado derivado del tratamiento aplicado en E2.



Fuente: Autoría propia.

3.5 DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CARRAGENINA EN EJEMPLARES CON MORFOTIPO NORMAL Y MORFOTIPO REDONDEADO

Los valores de concentración de carragenina en algas provenientes de los experimentos (E1) y (E2), se describen en la **Tabla I**. Pueden observarse la existencia de diferencias significativas entre ambas condiciones morfológicas ($p < 0.05$)., Estos resultados coinciden con los registrados por Muñoz *et al.*, (2004).

Tabla I. Valores medios en dos condiciones experimentales diferentes, de la concentración de polisacárido tipo carragenano para la cepa parda de *Kappaphycus alvarezii*. [Letras diferentes en los supraíndices indican diferencias significativas según la prueba de comparaciones de medias ANOVA]. (n=2).

Sitios	E 1	E 2
1	25,2 ^b ± 8,08	-----
	22,67 ^b ± 9,70	-----
2	-----	53,56 ^a ± 19,92
	-----	57,92 ^a ± 6,85

Según Cole & Sheakh (1990), la cantidad de nitrógeno en los estipes es importante para la regulación de la composición y calidad de los polisacáridos. En el caso de las frondas, o rámelas laterales, la concentración de nitrógeno suele ser menor. En porciones basales la concentración de polisacáridos es alta, mientras que las porciones más jóvenes, sobre todo las que están en crecimiento, presentan un contenido menor, aunque la calidad, expresada en la fortaleza del gel, suele ser mayor.

Bajo las condiciones experimentales de E2, los ejemplares sufren daños en los tejidos por acción de los herbívoros. Producto de esto, la planta debe sintetizar nuevamente todos los constituyentes de la pared celular, de la cual, la carragenina forma parte. De ahí que la concentración del polisacárido sea mayor en estos ejemplares que en aquellos que no han sufrido daños en sus paredes. Resultados semejantes fueron obtenidos por Azanza-Corrales & Dawes (1989). Dichos autores plantean que, como consecuencia de la reparación celular, en las paredes afectadas del vegetal producto del oleaje, se desarrolla una nueva síntesis de componentes protoplasmáticos siendo la carragenina uno de ellos.

4 CONCLUSIÓN

La variación morfológica que a través del tiempo se produce en los ejemplares de *Kappaphycus* sometidos a una presión de herbivoría intensa, disminuye la tasa de consumo por parte de los peces, así como el crecimiento del alga.

La cepa redondeada concentra mayor cantidad de polisacáridos que los ejemplares cuyo hábito es el más frecuente en la especie.

Aun cuando puedan no ser totalmente concluyentes las evidencias para plantear que las variaciones morfológicas registradas han sido ocasionadas por el pastoreo íctico, todo parece indicar que estas constituyen un mecanismo de defensa ante los herbívoros. Esta plasticidad fenotípica deprime el consumo por parte de los peces, y constituyen, una respuesta del vegetal a las condiciones que imperan en el medio.

REFERENCIAS

- Areces A.J. (1995). Cultivo de algas carragenófitas del género *Kappaphycus*. [p. 529-550]. En: Manual de Métodos Ficológicos. Alveal, K., Ferrario, M. E., Oliveira, E. C. & Sar, E. [Eds.]. Editorial Ciencia, Univ. de Concepción, Chile, 590 p.
- Areces, A.J., Cabrera, R., Díaz-Larrea, J., Collado-Vides, L. (2023). Relationship of Trace Elements Concentration and Growth Rate in *Alsidium triquetrum* (Rhodophyta). *American Journal of Plant Sciences*, 14, 323-338. <https://doi.org/10.4236/ajps.2023.143022>
- Azanza-Corrales, R., Dawes, C. J. (1989). Wound healing in *Euचेuma alvarezii* var. *tambalang* Doty. *Botanica Marina*, 32, 229–234.
- Borowitzka, M. A., Larkum, A. W. D. (1986). Reef Algae. *Oceanu*, 29, (2), 49-54.
- Cano, M., Calderón, R. (1996). Evaluación de diferentes zonas de la costa N.W. de Cuba con potencialidad para el cultivo de *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta: Gigartinales). Manejo de la granja de cultivo de especies del género *Kappaphycus*. VI Congreso Latinoamericano de Ficología. Sao Paulo, Brasil.
- Chopin, T., Whalen, E. (1993). A new and rapid method for carrageenan identification by FT IR diffuse reflectance spectroscopy directly on dried, ground algal material. *Carbohydrate Research*, 246, 51-59. [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(93\)84023-y](https://doi.org/10.1016/0008-6215(93)84023-y)
- Claro, R., García-Arteaga, J. P. (1994). Estructura de las comunidades de peces en los arrecifes del grupo insular Sabana-Camagüey, Cuba. *Avicennia*, 2, 83-107.
- Cole, K. M., Sheakh, R. G. (1990). *Biology of the red algae*. Cambridge University Press (Cambridge, Nueva York, Port Chester, Melbourne, Sydney). USA, 517 p.
- Dawes, C. J. (1986). *Botánica Marina*. Editorial Limusa, México, 673 p.
- Dawes, C.J., Lluisman, A.O., Trono, G. C. (1994). Laboratory and field growth studies of comercial of *Euचेuma denticulatum* and *Kappaphycus alvarezii* in the Philippines. *Journal of Applied Phycology*, 6, 21-24. <https://doi.org/10.1007/BF02185899>
- Dethier, M. N. (1981). Heteromorphic Algal Life Histories: The Seasonal Pattern and Response to Herbivory of the Brown Crust, *Ralfsia californica*. *Oecologia*, 49(3), 333–339.
- Duffy, J. M., Hay, M. E. (1990). Seaweed adaptations to herbivory. Chemical, structure and morphological defenses are often adjusted to spatial or temporal patterns of attack. *BioScience*, 40 (5), 368-375.
- Fogg, G.E. (2001). Adaptation of algae to stress. Some general observations. En: Rai, L.C., & Gaur, J.P. [Eds.]. *Adaptation of algae to environmental stress*. Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-59491-5-1>.
- Hastings, D.F. Gutknecht, J. (1976). Ionic relations and the regulation of turgor pressure in the marine alga *Valonia macrocophysa*. *Journal of Membrane Biology*, 28, 263-275.

Hay, M. E., Duffy, J. E., Fenical, W., Gustafson, K. (1988). Chemical defense in the seaweed *Dictyopteris delicatula*: differential effects against reef fishes and amphipods. *Marine Ecology Progress Series*, 48, 185-192.

Hay, M.E. (1991). Fish-seaweed interactions on coral reefs: effects of herbivorous fishes and adaptations of their prey. [p. 96–119]. En: Sale P.F. [Ed]. *The ecology of fishes on coral reefs*. Academic, San Diego.

Kamalakaran, B., Joyson Joe Jeevamani J., Nagendran, N. Arun, Pandiaraja, D., Chandrasekaran, S. (2014). Impact of Removal of Invasive Species *Kappaphycus alvarezii* from Coral Reef Ecosystem in Gulf of Mannar, India. *Current Science*, 106, 10, 1401–8.

Kasim, M., Balubi, A. M., Mustafa, A., Nurdin, R., Patadjai, R. S., Jalil, W. (2020). Floating Cage: A New Innovation of Seaweed Culture. [p.103-118]. En: Ed. Qian Lu & Mohammad Serajuddin [Eds.]. *Emerging Technologies, Environment and Research for Sustainable Aquaculture*. London, United Kingdom. 138 pp. ISBN 978-1-83881-201-0. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.82887>

Kumar, R.P., Singh, J.S (2020). Invasive alien plant species: Their impact on environment, ecosystem services and human health. *Ecological Indicators*, 111, 106020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106020>

Littler, M. M., Littler, D. S. (1980). The evolution of thallus form and survival strategies in benthic marine macroalgae: Field and laboratory tests of a functional form model. *The American Naturalist*, 116, 25–44.

Marshall, W. D. (1987). *Biología de las Algas. Enfoque fisiológico*. Editorial Limusa, México, 518 p.

Lobban, C., P.J. Harrison (1997). *Seaweed Ecology and Physiology*. Cambridge University Press, UK, 366 p.

Muñoz, J., Freile-Pelegrin, Y., Robledo, D. (2004). Mariculture of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) Color Strains In Tropical Waters of Yucatan, México. *Aquaculture*, 239, 161-171.

Serpa-Madrigal, A., Areces, A. J., Cano, M., Bustamante, G. (1997). Depredación sobre las carragenofitas comerciales *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty y *Kappaphycus striatum* (Schmitz) Doty (Rhodophyta, Gigartinales) Introducidas en Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 18, 65-69.

Siegel, S. (1972). *Diseño experimental no-paramétrico aplicado a las ciencias de la conducta*. [Ed. Revolucionaria]. La Habana, 346 p.

Steneck, R.S., Dethier, M.N. (1994). A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. *Oikos* 69: 476-498.

Yong, Y.S., Yong, W.T.L., Anton, A. (2013) Analysis of Formulae for Determination of Seaweed Growth Rate. *Journal of Applied Phycology*, 25, 1831-1834. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0022-7>

REALIZACIÓN:

SEVEN
publicações acadêmicas

¡ACCEDE A NUESTRO CATÁLOGO!



WWW.SEVENEVENTS.COM.BR

CONECTANDO AL **INVESTIGADOR** Y LA **CIENCIA** EN UN SOLO CLIC.