

SEVEN

PUBLICAÇÕES ACADÉMICAS
2024

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

UN ESTUDIO DE CASO EN LA
PLATAFORMA INSULAR CUBANA II



Ruben Cabrera
Arsenio J. Areces

SEVEN

PUBLICAÇÕES ACADÉMICAS
2024

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

UN ESTUDIO DE CASO EN LA
PLATAFORMA INSULAR CUBANA II



Ruben Cabrera
Arsenio J. Areces

REDACTOR JEFE

Prof. Me Isabelle de Souza Carvalho

EDITOR EJECUTIVO

Nathan Albano Valente

ORGANIZADORES DE LIBROS

Ruben Cabrera

Arsenio José Areces

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

Bruna Heller

IMÁGENES DE PORTADA

Ruben Cabrera

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 - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
Marcos Garcia Costa Morais - Universidade Estadual da Paraíba
Mônica Maria de Almeida Brainer - Instituto Federal de Goiás Campus Ceres
Caio Vinicius Efigenio Formiga - Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Egas José Armando - Universidade Eduardo Mondlane de Moçambique
Ariane Fernandes da Conceição - Universidade Federal do Triângulo Mineiro
Wanderson Santos de Farias - Universidade de Desenvolvimento Sustentável
Maria Gorete Valus - Universidade de 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
Yuni Saputri M.A - Universidade de Nalanda, Índia
Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí, CEAD
Anderson Nunes Da Silva - Universidade Federal do Norte do Tocantins
Adriana Barretta Almeida - Universidade Federal do Paraná
Jorge Luís Pereira Cavalcante - Fundação Universitária Iberoamericana
Jorge Fernando Silva de Menezes - Universidade de Aveiro
Antonio da Costa Cardoso Neto - Universidade de Flores Buenos Aires
Antônio Alves de Fontes-Júnior - Universidade Cruzeiro do Sul
Alessandre Gomes de Lima - Faculdade de Medicina da Universidade do Porto
Moacir Silva de Castro - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Marcelo Silva de Carvalho- Universidade Federal de Alfnas
Charles Henrique Andrade de Oliveira - Universidade de Pernambuco
Telma Regina Stroparo - Universidade Estadual de Ponta Grossa
Valéria Raquel Alcantara Barbosa - Fundação Oswaldo Cruz
Kleber Farinazo Borges - Universidade de Brasília
Rafael Braga Esteves - Universidade de São Paulo
Inaldo Kley do Nascimento Moraes - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Mara Lucia da Silva Ribeiro - Universidade Federal de São Paulo

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

C117g

Cabrera, Ruben.

EL GÉNERO KAPPAPHYCUS (RHODOPHYTA,
GIGARTINALES) UN ESTUDIO DE CASO EN LA
PLATAFORMA INSULAR CUBANA II [recurso eletrônico] /
Ruben Cabrera, Arsenio J. Areces. – São José dos Pinhais,
PR: Seven Editora, 2024.

Dados eletrônicos (1 PDF).

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-6109-039-1

1. Geologia. 2. Plataforma Insular Cubana. 3. Cuba.
I. Areces, Arsenio J. II. Título.

CDU 55

Índices para el catálogo sistemático:

1. CDU: BIOLOGÍA 55

Bruna Heller - Biblioteca - CRB10/2348

DOI: 10.56238/livrosindi202431-

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 E-BOOKS



Ruben Cabrera

Biólogo Marino que ha desarrollado sus investigaciones en áreas como osteología de peces, mamíferos y reptiles autóctonos en contextos arqueológicos. También tiene experiencia en ecología, cultivo y sistemática de algas marinas. <https://orcid.org/0000-0003-0089-1125>



Arsenio José Areces

Es Biólogo Marino, Master en Ciencias, con especialización en eutrofización, y Doctor en Ciencias Biológicas (maricultivo de agarófitos) por la Universidad de La Habana. Desde 1970 hasta 2012 se desempeñó como líder científico de varios departamentos del Instituto de Oceanología, anteriormente de la Academia de Ciencias de Cuba y luego del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, en los campos de ecología marina, hidroquímica y ficología aplicada. Desde 2017 a la fecha, se desempeña como investigador principal del Instituto de Geografía Tropical de Cuba en los campos de la gestión integrada de zonas costeras, la planificación espacial y el análisis del paisaje marino y costero. Recibió formación académica en Suecia y Filipinas, dirigió varios doctorados y tesis de maestría y actuó como colaborador de investigación, asesor científico o profesor en México, Venezuela, Estados Unidos de América y Brasil. Ha publicado varios libros y más de 100 artículos. [Orcid.org/0000-0001-9200-6271](https://orcid.org/0000-0001-9200-6271)

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 este segundo volumen, se exponen aspectos relacionados con los peces asociados a las zonas de cultivo, la fauna colonizadora, así como las tasas de consumo de herbívoros. Finalmente se relaciona el protocolo de introducción para el género *Kappaphycus*.

Areces J. A. & Cabrera, R.

SUMARIO

CAPÍTULO 1	8
 10.56238/livrosindi202431-001	
COMUNIDADES DE PECES ASOCIADOS AL CULTIVO DE <i>Kappaphycus alvarezii</i> EN HABANA, CUBA Fabián Pina Amargós, Rodolfo Claro Madruga, Juan Pablo García Arteaga.	
CAPÍTULO 2	25
 10.56238/livrosindi202431-002	
DINÁMICA, ESTACIONALIDAD Y COMPOSICIÓN COMPARATIVA DE LA FAUNA ASOCIADA A <i>Kappaphycus alvarezii</i>, <i>K. striatus</i> Y DOS MACROALGAS AUTOCTÓNAS Y SU RELACIÓN CON EL CRECIMIENTO José A. de la Torre-Chang, Ruben Cabrera, Alejandro Serpa-Madrigal, Arsenio J. Areces.	
CAPÍTULO 3	50
 10.56238/livrosindi202431-003	
POTENCIAL DE DEPREDACIÓN SOBRE CARRAGENÓFITAS COMERCIALES DEL GÉNERO <i>Kappaphycus</i> DOTY (RHODOPHYTA: GIGARTINALES) E INFLUENCIA DE ALGUNOS FACTORES FITOTÉCNICOS EN SU CULTIVO Alejandro Serpa-Madrigal, Arsenio J. Areces, Rubén Cabrera, Mercedes Cano Mallo, Georgina Bustamante.	
CAPÍTULO 4	66
 10.56238/livrosindi202431-004	
PROTOCOLO IMPLEMENTADO PARA LA CUARENTENA CON VISTAS A INTRODUCIR CARRAGENÓFITAS DEL INDOPACÍFICO EN EL HEMISFERIO OCCIDENTAL Arsenio J. Areces, Ruben Cabrera.	

COMUNIDADES DE PECES ASOCIADOS AL CULTIVO DE *Kappaphycus alvarezii* EN HABANA, CUBA

  10.56238/livrosindi202431-001

Fabián Pina Amargós

Blue Sanctuary-Avalon, Jardines de la Reina, Habana, Cuba

Rodolfo Claro Madruga

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

Juan Pablo García Arteaga

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

RESUMEN

El maricultivo es una opción necesaria y potencialmente sostenible para reducir la extracción de la biodiversidad marina. No obstante, debe estar acompañado de la evaluación de las afectaciones que causan en los ambientes naturales. En los años 1990 se realizó cultivo del alga *Kappaphycus alvarezii* en la Habana, Cuba. Este trabajo persiguió como objetivo determinar la posible incidencia del cultivo de esa alga en las comunidades de peces. Dichas comunidades mostraron variaciones en densidad, biomasa, número de especies, índice de diversidad, índice de riqueza, índice de equitatividad y estructura trófica tanto espacial como temporalmente. Estas variaciones pudieran estar asociadas a un conjunto de factores como la complejidad estructural de los biotopos, la movilidad de los peces, y el cultivo, entre otros.

SUMMARY

Mariculture is a needed and potentially sustainable option to reduce current extraction of marine biodiversity. However, its impact on natural places must be assessed. In the 1990s there was a mariculture development of the algae *Kappaphycus alvarezii* in Havana, Cuba. This study aimed to determine the potential influence of this activity in fish communities. These communities showed spatial and temporal variations in density, biomass, number of species, diversity index, species richness index, evenness index and trophic structure. These variations might be related to a group of variables including structural complexity of the biotopes, fish movement, mariculture of the algae and culture among others.

Palabras clave: Biomasa, Densidad, Acanthuridae, Haemulidae, Herbívoros, Bentófagos.

1 INTRODUCCIÓN

A principio de 1991, fueron introducidas a Cuba con fines experimentales las carragenófitas *Kappaphycus alvarezii* y *K. striatus* desde Boliano, costa oeste de Luzón, Filipinas; atendiendo a las características de nuestras aguas que permitieron potencializar su cultivo con fines económicos (Areces *et al.*, 2024). Desde mediados de 1992, luego de los estudios a nivel de laboratorio, dichas especies fueron cultivadas en la rada del Instituto de Oceanología, para realizar las investigaciones de campo y comenzar su explotación a escala piloto.

Esta especie se seleccionó por su rápida tasa de crecimiento, con ciclos de cosecha de sólo 100 a 120 días (Simatupang *et al.*, 2021). Paralelamente, se llevaron a cabo los estudios para evaluar el impacto de dichos cultivos sobre los ecosistemas, su flora y fauna.

El cultivo de estas algas en cuerda flotantes introduce una cantidad adicional de refugio en el área y constituyen además un objeto alimentario nuevo, por lo cual es de esperar alteraciones en la estructura de las comunidades, particularmente de los peces herbívoros, quienes a su vez por su actividad alimentaria pueden afectar el cultivo de las algas (Abdullah *et al.*, 2020).

Doty *et al.*, (1987) señalan que los cultivos de *Kappaphycus* en Filipinas son atacados por los peces de la familia Siganidae y Tetraodontidae. La primera no está presente en Cuba, pero la segunda sí, aunque sus poblaciones son poco abundantes. No obstante, otros peces herbívoros son más comunes en nuestras aguas, principalmente representantes de las familias Scaridae y Acanthuridae, las que se registran en diferentes biotopos de la plataforma con diferente grado de exposición a las actividades antrópicas, como las descritas por Cabrera Guerra *et al.*, (2019). Es de esperarse que ambas familias establezcan algún grado de interacción con las algas en cultivo.

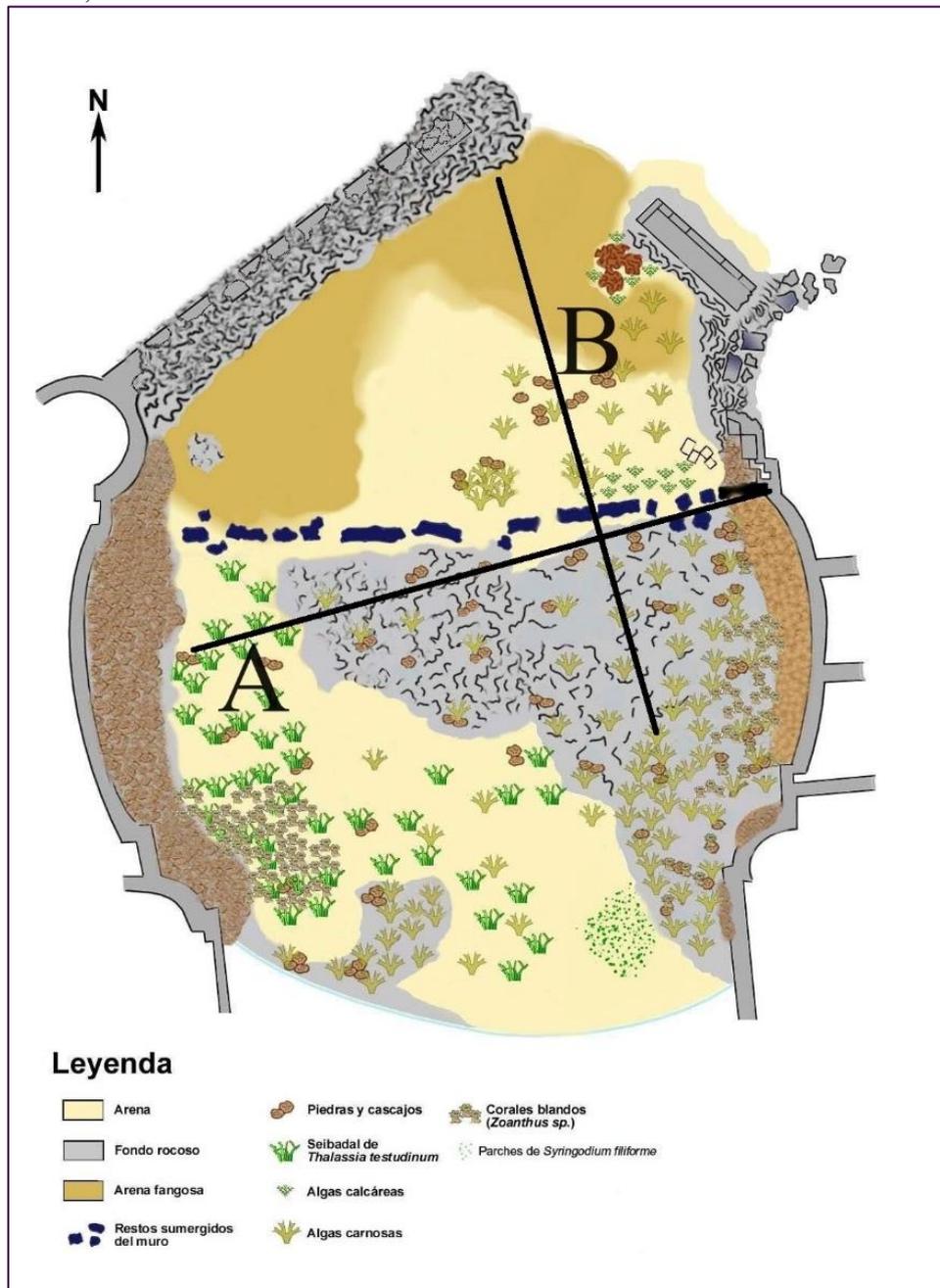
En áreas donde estas carragenófitas son nativas se han realizado varias investigaciones que permiten evaluar la incidencia que la conducta del consumo tiene sobre los rendimientos de cultivo (Kasim & Asnani, 2012, Kasim *et al.*, 2016), estableciéndose métodos muy eficaces para minimizar no solo el pastoreo sino también el efecto de las corrientes (Kasim *et al.*, 2020). La presente investigación tuvo como objetivo describir la estructura y las relaciones tróficas en las comunidades de peces en el área de cultivo, así como sus variaciones en relación con los sustratos natural y el artificial constituido por el cultivo.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ZONA DE ESTUDIO

El trabajo se llevó a cabo en la rada del Instituto de Oceanología, pequeña ensenada situada en el área de dicho centro, en la costa Norte de la Ciudad de la Habana en 1993 y 1994. La rada estaba rodeada por muros de contención que dejan libres solamente su parte Noroeste: una boca de aproximadamente 25 m que permite su comunicación con las aguas adyacentes. Su superficie total es de 15 487 m² y su profundidad media de 1.5 m, presentando cerca de la mitad un muro transversal sumergido que la atraviesa de lado a lado. El área de estudio presentó los siguientes tipos de fondos: a) roca, b) arena y roca, c) praderas de *Thalassia*, d) arena con vegetación y f) rocas con vegetación (Herrera *et al.*, 1981). El transecto A, correspondiente al muro sumergido contiene los biotopos a, b, c y f, mientras que el B, realizado en la playa y la boca, presenta los biotopos a, b, y f (**Figura 1**).

Figura 1. Zona de estudio en la rada del Instituto de Oceanología. Se muestra en la leyenda los tipos de fondo y los transectos, A, Muro, B, Centro.



Fuente: Herrera *et al.* (1981) modificado por K. Cantelar en 2004 (inédito).

2.2 MÉTODO DE MUESTREO

No existe un método universal para los estudios de la estructura de las comunidades de peces arrecifales, por lo que cada investigador aplica el método que considera adecuado según sus objetivos. Entre los métodos de evaluación por censo visual los más utilizados son el conteo estacional (Bohnsack & Bannerot, 1986); el conteo por tiempo (Jones & Thompson, 1978); y el censo visual por transecto (Brock, 1954).

El primero de estos ofrece mejor información sobre la abundancia relativa y la frecuencia de ocurrencia de todas las especies observadas en el sitio, y tiene como desventajas la poca información en cuanto a la densidad y biomasa y que no proporciona una lista completa de las especies presentes en el lugar. El conteo por tiempo provee de mucha información sobre la riqueza y la diversidad de especies, pero se pueden realizar muy pocos muestreos por unidad de tiempo y no aporta datos cuantitativos. Por su parte, el censo visual por transecto es el mejor método para estimar la densidad y biomasa; cubre una extensa área y permite una mejor representación de los peces grandes y móviles, aunque se logra menos muestreos por unidad de tiempo y puede proporcionar menos información sobre los peces crípticos. Para este trabajo se escogió este último por ser el más conveniente para alcanzar los objetivos propuestos.

Se realizaron censos visuales por un observador en dos transectos diferentes de la rada: uno sobre el muro sumergido (**Muro**), y otro en el centro, desde cerca de la playa hasta la boca (**Centro**), con 110 y 85 m de largo, respectivamente (**Figura 1**). El primero de estos, asemeja un arrecife lo que les brinda a los peces y demás organismos una actividad relacionada con refugios o sustrato duro, ambos presentes en el segundo solo en el lugar que corta al muro sumergido. Por otra parte, el **Centro** incluyó mayor área de cultivo que el **Muro**, lo que brinda una cantidad adicional de refugios, aunque más homogéneos y menos sólidos que los encontrados en el **Muro**.

Se censaron todos los peces observados en la franja de 2 m de ancho (1 metro a cada lado de una cuerda previamente ubicada), se toma como principio la metodología propuesta por Brock (1954), adaptada por Claro & García-Arteaga (1994a) y ajustada a las condiciones imperantes en el área de estudio. El número de individuos y la talla de cada uno se estimó al medirse el largo de la horquilla (LH).

2.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

Con los valores de abundancia y talla fue calculado el peso total de los individuos de cada especie en el muestreo, se emplea para ello las relaciones largo-peso obtenidas en la literatura (Claro & García-Arteaga, 1994 b). En cada muestreo se calculó: densidad de biomasa total por especies y familia; número de especies, índice de diversidad - H' (Shannon & Weaver, 1949); índice de riqueza- R_1 (Margalef, 1951), e índice de equitatividad- J' (Pielov, 1966).

Con vista a evaluar la riqueza de las especies se confeccionaron además las curvas acumulativas del número de especies contra el número de individuos en los muestreos. La estructura de ictiofauna se evaluó también mediante el método de frecuencia (Mason & Briant, 1974), estableciéndose sus tres niveles de frecuencia:

- Especie que aparecen en más del 67% de los muestreos.
- Entre el 36 y el 67%.
- Menos del 36%.

El porcentaje de densidad y biomasa se subdividió en cuatro niveles:

- Densidad o biomasa proporcionales mayor al 10%.
- Entre 1 y 10%.
- Entre 0.1 y menos de 1%.
- Menos del 0.1%.

De esta forma cada especie se coloca en una de las 12 categorías de acuerdo con su presencia y con su densidad y biomasa.

Se calculó además el índice de jerarquía IJ- (*ranking index*) para cada especie, multiplicándose el porcentaje de frecuencia de ocurrencia por el porcentaje de individuos y jerarquizándose después los valores obtenidos.

Se realizaron análisis de agrupamiento de las muestras utilizándose el índice de Bray- Curtis (Boesch, 1977).

La estructura trófica de la comunidad se analizó tomándose como categorías las diferencias definidas por Sierra *et al.*, (1994) para varios ecosistemas.

Para comprobar las diferencias entre las variables índice de riqueza, número de especies, densidad y biomasa se utilizó la prueba no paramétrica de Kolmogórov-Smirnov con dos colas usándose el programa gráfico-estadístico de *StatSoft* (2001).

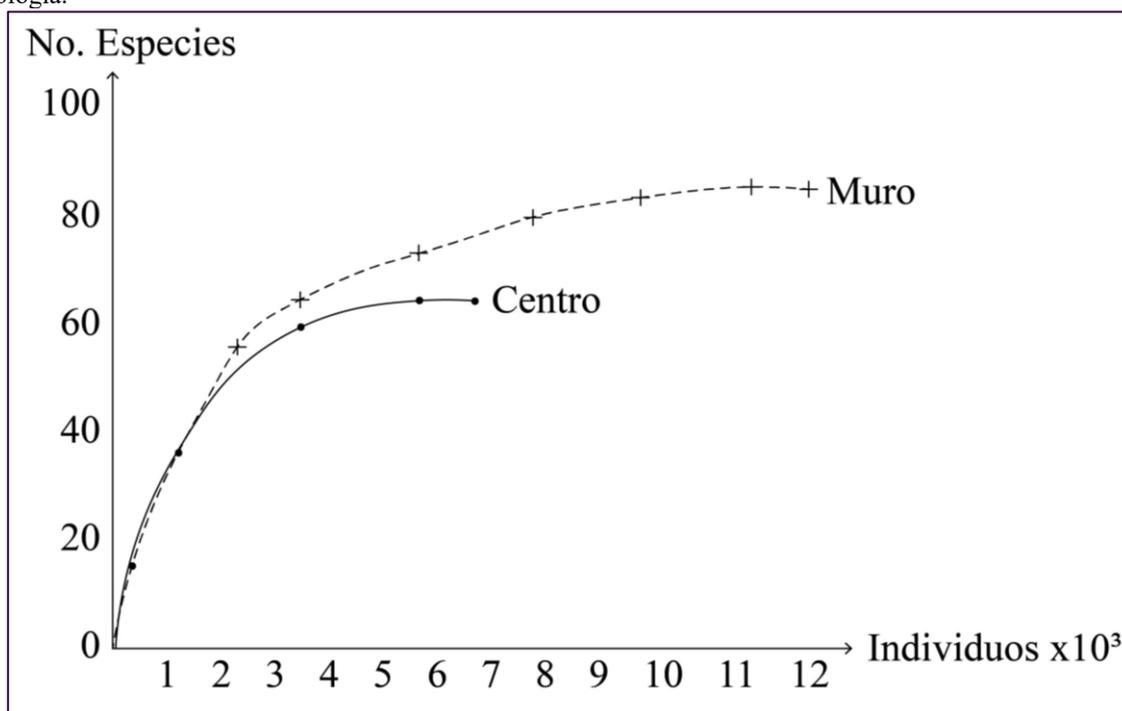
Las curvas de densidad y biomasa de peces y la biomasa de algas en cultivo durante los meses mostrados fueron confeccionadas mediante el programa Harvard Graphic versión 3.0.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD

Las curvas acumulativas del número de especies en relación con el número de individuos (**Figura 2**), muestran que en ambos casos se alcanzó el nivel asintótico, por lo se asume que representan bien en ambos transectos la riqueza. Se evidencia que esta fue mayor sobre el **Muro** que sobre el **Centro**.

Figura 2. Curva acumulativa del número de especies contra el número de individuos realizados en la rada del Instituto de Oceanología.



Fuente: Autoría propia.

Las **Tablas I y II** representan los valores obtenidos en cada censo visual realizado en los transectos sobre el **Muro** y el **Centro** de la rada. El número promedio y acumulativo de especies observados en el primero fue superior al segundo (diferencias significativas para un 95%).

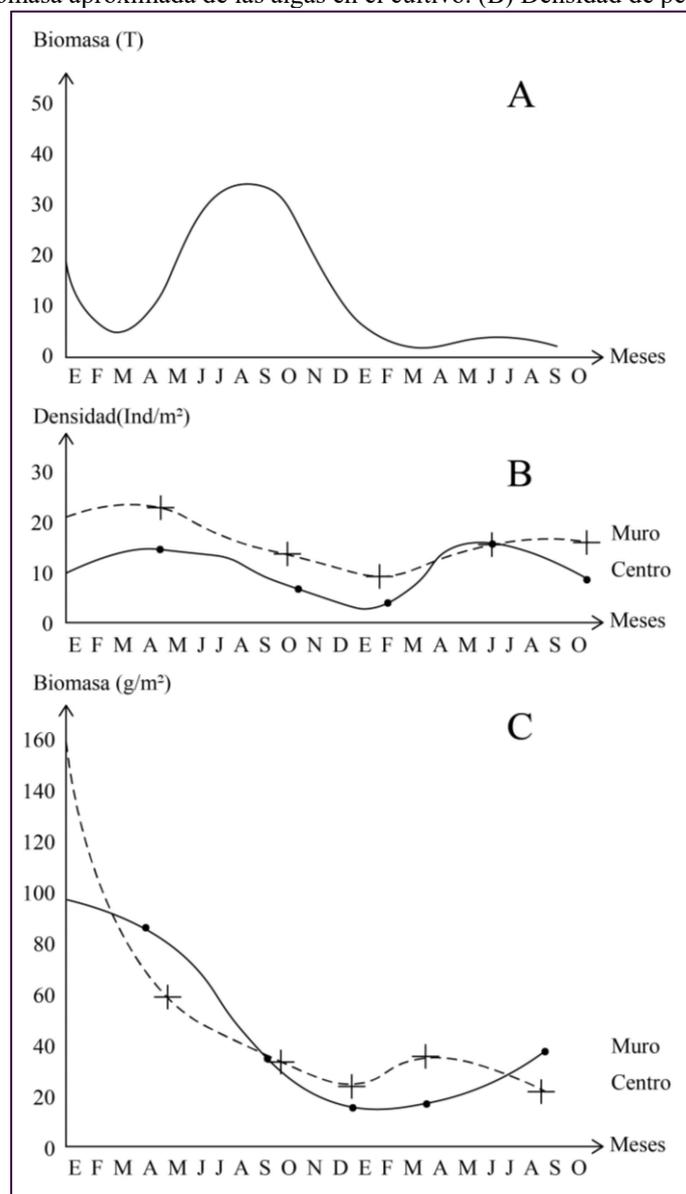
En 1974 Motchek *et al.* (1975) registraron la presencia de sólo 20 especies de peces en la rada. En los muestreos obtenidos en el presente trabajo se observaron 93 especies. Esa diferencia puede deberse al método, los observadores, los cambios en los biotopos, al cultivo de las algas o a una combinación de estos u otros factores.

Los valores en los índices de diversidad (H'), riqueza (R_1), equitatividad (J') fueron muy variables (**Tabla I y II**). Con respecto al primero y al último, no hay diferencias significativas entre ambos transectos, aunque sí en cuanto a la riqueza, siendo esta mayor en **Muro** presumiblemente por una mayor disponibilidad de refugio.

En general los valores de H' y R_1 fueron inferiores a los encontrados en los arrecifes coralinos cubanos (Claro & Parenti, 2001). Esto pudiera deberse a la menor complejidad estructural de los biotopos de la rada. Los valores de J' sin embargo, son más altos que los registrados para los arrecifes coralinos cubanos (Durán *et al.* 2023), lo cual podría estar influenciado por el cultivo, pero también por factores previos a este o independientes del mismo. Radulovich *et al.* (2015) comprobaron que existe un incremento de los peces de talla mediana en sitios donde se cultivan las algas, sobre todo en aquellos sitios con fondos desprovistos de vegetación (Cabrera *et al.* 2021).

La densidad y biomasa en ambos transectos fue inferior a la encontrada en arrecifes coralinos de la zona suroccidental de Cuba (Claro & Parenti, 2001), lo cual debe estar asociado a una mayor complejidad topográfica del sustrato en la zona suroccidental de Cuba. La densidad y la biomasa podrían estar influenciadas por la variación de la biomasa del alga, aunque lamentablemente no fue posible cuantificar esta última, lo que dificulta establecer su correlación con la abundancia de peces. No obstante, en base a los datos de extracción de las algas en la rada, que dependió en gran medida de la biomasa total existente, se representa la variación aproximada en la abundancia de algas cultivadas durante dicho periodo (**Figura 3A**). Los cambios de densidad y biomasa también pueden deberse a factores previos al cultivo o ser independientes de este.

Figura 3. Parámetros medidos en mantos cultivados de *Kappaphycus alvarezii* y en su comunidad de peces asociada. (A) Variación mensual de la biomasa aproximada de las algas en el cultivo. (B) Densidad de peces (C) Biomasa de peces.



Fuente: Autoría propia.

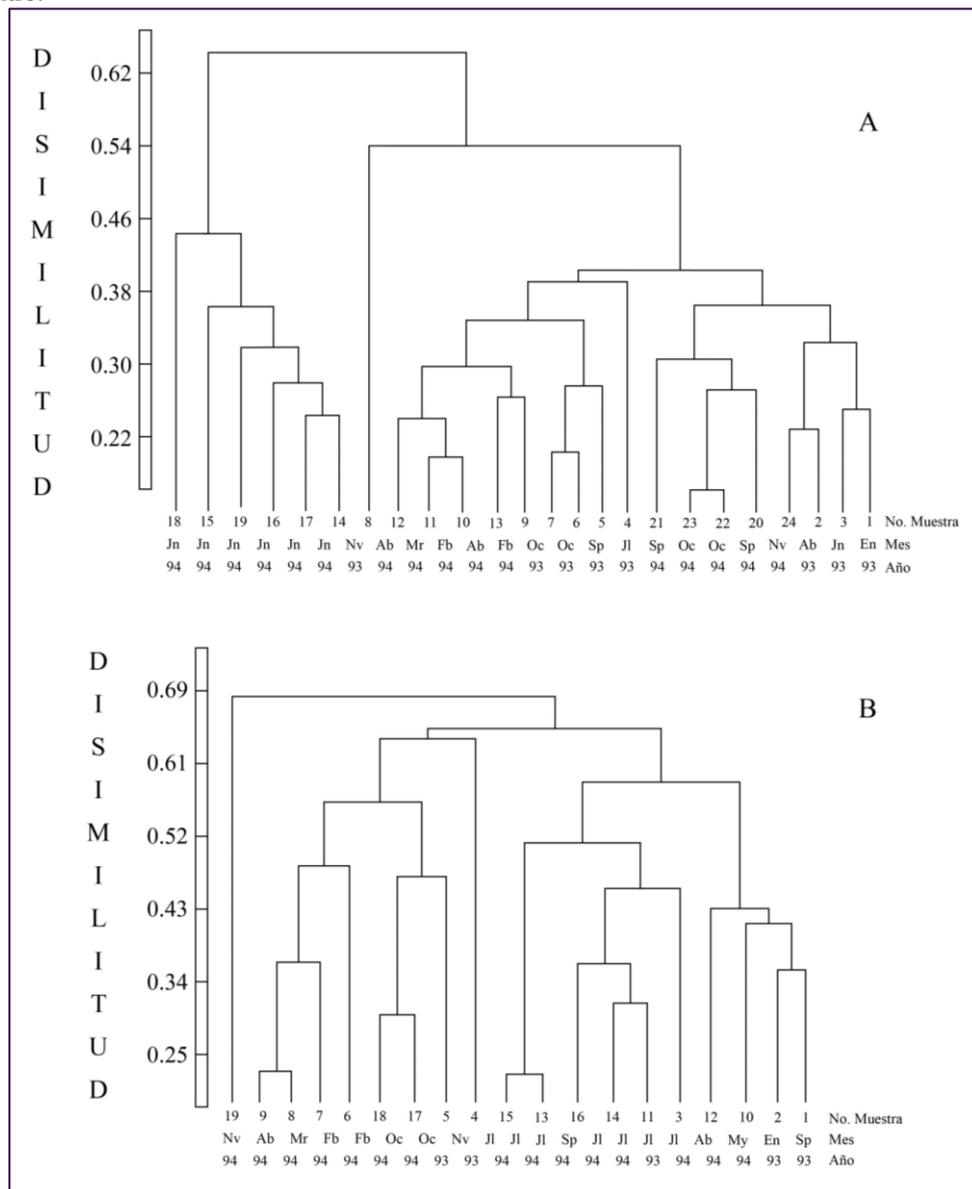
La siembra de algas comenzó en 1992, pero sufrió un serio colapso en 1993 a causa de la Tormenta del Siglo que tuvo lugar del 12 al 14 de marzo de 1993. A mediados de ese mes se inició nuevamente la siembra de forma masiva y se empezó su explotación desde el mes de mayo. En agosto de 1993 la biomasa algal alcanzó su máximo valor tras la cual disminuyó tanto la intensidad como la superficie de siembra, con la consecuente disminución de su biomasa. Ya desde octubre se suspendió completamente la siembra y desde noviembre la extracción. Desde ese momento la biomasa total disminuyó paulatinamente por deterioro del sustrato de cultivo, aunque sobre el fondo se mantuvo una densa cobertura vegetal.

En los primeros meses de cultivo se observaron valores de densidad de peces relativamente altos (**Figura 3B**). Estos se mantuvieron altos tanto el **Muro** como en el **Centro**, casi todo el año, aunque con cierta disminución en los meses invernales y valores más altos en verano, no guardando el fenómeno relación con la variación de la biomasa del alga. Ello pudo ser consecuencia de la dispersión de los peces con el aumento del área de cultivo, pues anteriormente solo se concentraban en el muro sumergido mientras que con el desarrollo del cultivo se distribuyeron en toda la rada.

La biomasa de peces, sin embargo, fue alta en los primeros meses, pero decreció hacia el final del verano de 1993; se mantuvo baja durante todo el invierno y aumentó un poco con posterioridad (**Figura 3C**), tampoco guardando relación con la variación de la biomasa de las algas. Las variaciones más notables estuvieron determinadas principalmente por el cambio en la composición por tallas de los peces, fundamentalmente de la familia Acanthuridae, cuyos cardúmenes al parecer realizan migraciones diarias desde la ensenada a la meseta exterior y viceversa. Por ejemplo, los altos valores de biomasa de enero de 1993, se debieron a la presencia de un cardumen de *Acanthurus coeruleus*, la mayor parte con tallas superiores a 20 cm LH.

Los análisis de agrupamiento efectuados empleándose el índice de disimilitud de Bray- Curtis (Boesh, 1977) para los muestreos realizados en el **Muro** y en el **Centro**, se muestran en la Fig. 4. En el primer caso (**Figura 4A**), se observa un claro de agrupamiento de los tres primeros muestreos y aquellos realizados en el mes de junio de 1994. Los primeros muestreos se caracterizaron por densidades más altas, dada principalmente por los cardúmenes de Acanthuridae y los segundos muestreos por el predominio de la familia Haemulidae. Igualmente se agruparon otros muestreos según el período en que fueron realizados, evidenciándose los cambios que tienen lugar a través del tiempo en la estructura de la comunidad en cuanto a la composición por especies y a las cantidades de individuos por especie.

Figura 4. Análisis del índice de Similitud de Bray Curtis como estrategia de agrupamiento de los muestreos realizados. (A) Muro. (B) Centro.



Fuente: Autoría propia.

En el caso de los muestreos realizados en el transecto **Centro** (**Figura 4 B**), no se observaron agrupamientos claros en relación con el período del año. Esto pudiera deberse a que las comunidades de peces del **Centro** están dominadas por especies que realizan frecuentes movimientos de forrajeo (Cooke *et al.*, 2016), mientras que los del **Muro** son más dependientes del sustrato, y por tanto más territoriales.

La **Tabla III** presenta la lista de todas las especies presentes en los transectos, durante los dos años de muestreo, con información sobre la frecuencia, abundancia, biomasa (F/a-b) y el índice de jerarquía (IJ) para cada una. La especie dominante en ambos transectos fue *Haemulom flavolineatum*. Los peces de la familia Haemulidae son muy abundantes en los arrecifes de Cuba, aunque solo una

especie resultó abundante en la rada. Un carácter distintivo de la comunidad de peces en la rada fue la alta proporción de los barberos (Acanthuridae), cuya densidad y biomasa resultaron de 3.5 a 12 veces mayor que en los arrecifes someros del archipiélago Sabana-Camagüey y del Golfo de Batabanó (Claro & Parenti, 2001). La densidad de loros (Scaridae) resultó también algo mayor en la rada, pero su biomasa fue inferior debido al predominio de especies de pequeña talla.

3.2 ESTRUCTURA TRÓFICA

Sobre el **Muro** los bentófagos predominan por el número de especies y densidad, mientras que fueron segundos en biomasa (37%) (**Tabla IV**). Los herbívoros, aunque con menor número de especies y densidad, constituyeron los de mayor biomasa (52%). Los planctófagos son poco frecuentes en el área. Sin embargo, en ocasiones penetran a la rada grandes cardúmenes de sardinas (*Harengula humeralis* y *Harengula clupeiola*), que por su esporádica aparición no fueron consideradas en los muestreos, pero que en tales momentos constituyen un elemento importante desde el punto de vista trófico. En el **Centro** los bentófagos constituyeron el 57% a las especies presentes, sin embargo, tienen densidades semejantes a la de los herbívoros y son superados ampliamente por estos en biomasa con un 77% del total. Aunque en ambos transeptos se observó mayor diversidad de bentófagos, los herbívoros constituyeron la biomasa fundamental, con niveles superiores a los registrados en los arrecifes coralinos cubanos (Sierra *et al.*, 2001; Durán *et al.*, 2023), mientras que los depredadores ictiófagos fueron los más escasos.

La **Tabla V** presenta por trimestre los valores del número de especies, su densidad y la biomasa de peces herbívoros en los dos transeptos, tanto separados como sumados. Los valores de densidad y biomasa muestran notables variaciones, debido a que los peces de la familia Acanthuridae, que dominan ambos parámetros, se mueven en cardúmenes de un lugar a otro, provocando gran variabilidad en los valores entre diversos muestreos. Por ello se decidió unir los resultados obtenidos en los dos transeptos.

Los herbívoros dominaron todo el tiempo de muestreo, con una biomasa que representó el 42% del total.

Al comparar los valores obtenidos con los encontrados en ambientes naturales en la plataforma de Cuba, pudo observarse que en la rada los herbívoros atendiendo a la biomasa son 1.5 a 3 veces más abundantes que en los bancos y mesetas arrecifales y de 4 a 7 veces más que en los arrecifes de parche, las pendientes arrecifales y manglares (Sierra *et al.*, 2001). Resulta evidente luego del análisis de la estructura trófica, que los herbívoros constituyeron las categorías dominantes dentro de la rada, lo que pudiera estar influenciado por el cultivo de algas, pero también debido a la condición natural de dicho ambiente o a otros factores independientes del cultivo.

4 CONCLUSIÓN

Las comunidades de peces asociadas al cultivo del alga *Kappaphycus alvarezii* en el segmento costero de la ciudad de La Habana estudiado, mostraron variaciones en densidad, biomasa, número de especies, índice de diversidad, índice de riqueza, índice de equitatividad y estructura trófica tanto de manera espacial como temporal. Estas variaciones pudieran estar asociadas a un conjunto de factores como la complejidad estructural de los biotopos, la movilidad de los peces y el cultivo.

Tabla I. Valores de densidad, biomasa y algunos indicadores ecológicos de las asociaciones de peces en el transecto sobre el muro sumergido (**Muro**).

No. de Muestras	Fecha	Área (m ²)	No. de especies	H' (bitios)	R ₁	J'	Densidad (ind/m ²)	Biomasa (g/m ²)
1	19-1-93	500	48	3.64	4.70	0.65	2.04	97.9
2	30-4	500	39	3.82	3.68	0.72	2.58	88.2
3	3-6	500	40	4.00	3.72	0.75	2.87	81.9
4	23-7	500	36	3.75	3.53	0.73	1.94	80.1
5	24-9	220	38	4.39	4.39	0.84	1.57	31.16
6	15-10	220	33	4.11	3.81	0.81	1.53	39.75
7	29-10	220	33	4.24	3.85	0.84	1.44	33.14
8	5-11	220	29	3.87	3.64	0.80	0.94	17.91
9	11-2-94	220	32	4.12	3.80	0.82	1.29	21.30
10	23-2	220	28	4.22	3.52	0.88	0.92	3.91
11	24-3	220	33	4.35	4.05	0.86	1.08	10.18
12	15-4	220	33	4.20	4.07	0.83	1.05	18.12
13	22-4	220	25	3.96	3.16	0.85	0.88	8.75
14	21-6	220	34	3.81	3.91	0.75	1.54	11.6
15	22-6	220	28	3.44	2.99	0.72	2.39	23.02
16	23-6	220	34	3.82	3.76	0.75	1.99	10.76
17	24-6	220	28	3.44	3.90	0.77	2.30	20.75
18	27-6	220	34	3.82	3.50	0.60	3.14	12.57
19	28-6	220	36	3.99	3.73	0.78	1.74	12.05
20	20-9	220	30	3.62	3.49	0.74	1.44	22.87
21	23-9	220	35	3.88	4.01	0.76	1.62	26.28
22	11-10	220	38	4.20	4.23	0.80	1.96	63.52
23	14-10	220	38	4.01	4.30	0.76	1.76	28.74
24	22-11	220	34	3.36	3.78	0.73	2.32	45.60
Acumulado		6400	92				1.85	43.15

H' = índice de diversidad (Shannon & Weaver, 1949), R₁ = índice de riqueza- R₁ (Margalef, 1951), J' = índice de equitatividad (Pielou, 1966)].

Tabla II. Valores de densidad, biomasa y algunos indicadores ecológicos de las asociaciones de peces en el transecto sobre la playa de la boca (**Centro**).

No. de Muestras	Fecha	Área (m ²)	No. de especies	H' (bitios)	R ₁	J'	Densidad (ind/m ²)	Biomasa (g/m ²)
1	19-1-93	400	25	3.41	2.81	0.73	0.94	154.97
2	3-5	400	29	3.57	3.26	0.74	0.96	45.69
3	4-6	400	28	3.95	2.80	0.82	1.98	38.73
4	23-7	400	36	4.01	3.63	0.78	1.99	47.39
5	5-11	170	22	3.78	2.86	0.85	0.94	27.12
6	11-2-94	170	18	3.68	2.71	0.88	0.45	6.30
7	23-2	170	19	3.04	2.51	0.73	0.64	36.88
8	24-3	170	16	3.71	2.54	0.87	0.79	13.92
9	15-4	170	21	3.36	2.19	0.84	0.67	20.91

10	22-4	170	28	3.21	2.51	0.73	1.46	61.41
11	21-6	170	16	3.45	3.02	0.72	2.88	50.75
12	22-6	170	24	2.17	1.73	0.54	2.38	17.58
13	23-6	170	23	2.44	2.65	0.53	2.42	23.24
14	24-6	170	25	2.88	2.64	0.64	1.89	29.79
15	28-4	170	14	2.55	2.77	0.55	2.36	31.82
16	20-9	170	25	3.13	1.60	0.82	1.65	38.83
17	11-10	170	23	3.74	3.17	0.81	1.12	9.78
18	14-10	170	24	3.40	3.00	0.75	0.94	12.04
19	22-11	170	15	3.41	2.41	0.85	0.44	18.20
Acumulado		4150	64				1.43	44.58

H' = índice de diversidad (Shannon & Weaver, 1949), R₁ = índice de riqueza- R₁ (Margalef, 1951), j' = índice de equitatividad (Pielou, 1966)].

Tabla III. Relación de especies observadas en los dos transectos realizados en la rada del Instituto de Oceanología, con los valores de frecuencia, abundancia, biomasa, (F/a-b) y del índice de jerarquía de cada una.

FAMILIA Especie	Muro		Centro	
	F/a-b	IJ	F/a-b	IJ
MURAENIDAE				
<i>Echidna catenata</i>	C/4-3	49		
<i>Gymnothorax moringa</i>	C/4-4	56		
<i>Gymnothorax vicinus</i>	C/4-3	56		
CLUPEIDAE				
<i>Harengula clupeiola</i>	C/4-4	56		
ENGRAULIDAE				
<i>Anchoa lyolepis</i>	C/4-4	56		
BELONIDAE				
<i>Tylosurus crocodylus</i>	C/4-4	55	C/4-4	49
HOLOCENTRIDAE				
<i>Holocentrus adsencionis</i>	C/3-3	25	B/3-3	26
<i>Holocentrus rufus</i>	C/3-3	19	B/3-3	20
<i>Neoniphon vexillarium</i>	A/2-3	14	C/4-4	36
<i>Myripristis jacobus</i>	B/3-4	33		
AULOSTOMIDAE				
<i>Aulostomus maculatus</i>	C/4-4	53		
FISTULARIIDAE				
<i>Fistularia tabacaria</i>	C/4-3	56		
SYNGNATHIDAE				
<i>Cosmocampus brachycephalus</i>	C/4-4	53		
SERRANIDAE				
<i>Mycteroperca bonaci</i>	C/4-4	56		
GRAMMISTIDAE				
<i>Rypticus saponaceus</i>	C/4-4	56	C/4-4	49
PRIACANTHIDAE				
<i>Priacanthus arenatus</i>	C/4-4	56		
<i>Heteropriacanthus cruentatus</i>	C/4-4	55		
APOGONIDAE				
<i>Apogon maculatus</i>	B/3-3	37		
CARANGIDAE				
<i>Caranx bartholomaei</i>	C/4-4	52	C/4-4	47
<i>Caranx crysos</i>	C/4-4	52	C/3-3	32
<i>Caranx hippos</i>	C/4-3	49	C/3-4	38
<i>Caranx latus</i>	C/4-4	52	C/3-2	35
<i>Caranx ruber</i>	A/2-2	13	B/2-2	11

LUTJANIDAE				
<i>Lutjanus apodus</i>	A/3-2	17	C/4-3	40
<i>Lutjanus griseus</i>	C/4-4	50	C/4-4	45
<i>Lutjanus synagris</i>	C/4-3	47	C/4-3	39
<i>Ocyurus chrysurus</i>	C/4-4	52	C/3-3	32
GERRIDAE				
<i>Eucinostomus havana</i>	C/4-4	48	C/3-4	31
<i>Gerres cinereus</i>	C/4-4	50	C/3-3	27
HAEMULIDAE				
<i>Anisotremus virginicus</i>	B/3-3	31	C/3-4	33
<i>Haemulon album</i>	C/4-4	54		
<i>Haemulon aurolineatum</i>	C/3-3	35	C/2-3	21
<i>Haemulon carbonarium</i>	B/3-2	21	C/3-3	21
<i>Brachygenys chrysargyreum</i>	C/4-3	51	C/3-4	43
<i>Haemulon parra</i>	C/4-4	49	C/3-3	29
<i>Haemulon plumierii</i>	A/2-2	18	B/3-3	19
<i>Haemulon sciurus</i>	B/3-3	40	C/4-3	41
<i>Haemulon spp.</i>	B/2-4	11	C/2-4	12
SCIANIDAE				
<i>Pareques acuminatus</i>	B/3-4	42	C/4-4	42
<i>Eques lanceolatus</i>	C/3-4	32	C/4-4	49
<i>Odontoscion dentex</i>	C/4-4	50	C/4-4	41
MULLIDAE				
<i>Mulloidichthys martinicus</i>	B/3-3	36	C/3-3	38
<i>Pseudupeneus maculatus</i>	B/3-3	30	B/2-3	15
KYPHOSIDAE				
<i>Kyphosus sectatrix</i>	B/3-3	38		
EPHIPPIDAE				
<i>Chaetodipterus faber</i>	C/3-2	44	C/3-2	39
CHAETODONTIDAE				
<i>Chaetodon capistratus</i>	B/3-3	29	B/3-4	25
<i>Chaetodon ocellatus</i>	C/4-4	56	C/3-4	34
<i>Chaetodon sedentarius</i>	C/4-4	52	C/3-4	31
<i>Chaetodon striatus</i>	C/4-4	46	B/3-4	28
POMACANTHIDAE				
<i>Pomacanthus paru</i>	B/3-3	39	C/3-3	30
POMACENTRIDAE				
<i>Abudefduf saxatilis</i>	A/1-2	2	A/2-2	14
<i>Abudefduf taurus</i>	A/3-2	22		
<i>Azurina cyanea</i>	C/4-4	53		
<i>Stegastes adustus</i>	A/2-2	3	A/2-3	8
<i>Stegastes leucostictus</i>	A/2-3	12	A/2-3	13
<i>Stegastes partitus</i>	B/3-4	34		
<i>Stegastes variabilis</i>	B/3-3	27	C/3-4	34
LABRIDAE				
<i>Halichoeres bivittatus</i>	A/2-2	9	A/2-2	6
<i>Halichoeres garnoti</i>	C/4-4	56		
<i>Halichoeres maculipinna</i>	B/3-3	24	B/3-3	22
<i>Halichoeres poeyi</i>	C/4-3	53	C/3-3	37
<i>Halichoeres radiatus</i>	A/3-3	20	C/3-4	24
<i>Xyrichtys novacula</i>			C/3-4	44
<i>Lachnolaimus maximus</i>	C/4-4	56		
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	A/2-2	8	A/2-3	9
SCARIDAE				
<i>Scarus coelestinus</i>	C/4-4	56		
<i>Scarus croicensis</i>	A/2-2	7	A/2-3	5
<i>Scarus guacamaia</i>	C/4-4	56	C/4-4	46
<i>Scarus taeniopterus</i>	C/4-4	50		

<i>Scarus vetula</i>	C/4-4	55		
<i>Sparisoma aurofrenatum</i>	C/3-3	45	C/4-4	49
<i>Sparisoma chrysopterum</i>	A/2-2	15	A/2-2	10
<i>Sparisoma radians</i>	A/2-3	10	B/2-3	1
<i>Sparisoma rubripinne</i>	B/3-2	23	B/3-3	15
<i>Sparisoma viride</i>	A/2-2	16	A/3-3	13
SPHYRAENIDAE				
<i>Sphyraena barracuda</i>	C/4-3	53		
OPISTHOGNATHIDAE				
<i>Opistognathus macrognathus</i>	C/4-4	56	C/4-4	40
LABRISOMIDAE				
<i>Labrisomus nuchipinnis</i>	A/3-4	26	C/4-4	48
<i>Malacoctenus triangulatus</i>	B/3-4	28	B/3-4	18
TRIPTERIGIDAE				
<i>Enneanectes atrorus</i>	C/4-4	56		
BLENNIDAE				
<i>Ophioblennius atlanticus</i>	B/4-4	41		
GOBIIDAE				
<i>Elacatinus genie</i>	C/4-4	56		
ACANTHURIDAE				
<i>Acanthurus tractus</i>	A/2-2	5	A/1-1	3
<i>Acanthurus coeruleus</i>	A/2-1	4	A/1-1	2
<i>Acanthurus chirurgus</i>	A/2-1	6	A/2-1	4
BALISTIDAE				
<i>Aluterus scriptus</i>	C/4-4	56		
<i>Cantherhines pullus</i>	B/3-3	39	C/4-4	35
TETRAODONTIDAE				
<i>Canthigaster rostrata</i>	C/4-4	56	C/4-4	49
<i>Sphoeroides spengleri</i>	C/4-3	56	C/4-3	49
<i>Sphoeroides testudineus</i>	C/4-356			
DIODONTIDAE				
<i>Diodon holocanthus</i>	C/4-3	49	C/4-3	49
<i>Diodon hystrix</i>	B/3-2	41	C/4-3	45

Tabla IV. Proporción (en porcentajes) de especies, densidad y biomasa de peces en cada categoría trófica en las observaciones realizadas en dos transectos de la rada del Instituto de Oceanología.

Muro			
Categoría Trófica	No. especies	Densidad	Biomasa
Omnívoros	8.7	11.5	6.0
Herbívoros	18.5	34.7	52.2
Plantófagos	8.7	0.4	0.3
Bentófagos	45.6	49.6	37.0
Ictiófagos	12.0	2.7	2.3
Ictiobentófagos	6.5	1.1	2.2

Centro			
Categoría Trófica	No. especies	Densidad	Biomasa
Omnívoros	7.8	5.0	1.2
Herbívoros	15.6	45.4	77.0
Plantófagos	1.6	-----	-----
Bentófagos	57.8	44.9	14.9
Ictiófagos	10.9	0.4	0.9
Ictiobentófagos	6.2	0.4	0.9

Tabla V. Número de especies, densidad, biomasa y porcentaje de biomasa de peces herbívoros acumulados trimestrales observados en dos transectos estudiados y en total en la rada del Instituto de Oceanología.

Muro				
Período	No. Especies	Densidad (ind/m²)	Biomasa (g/m²)	Biomasa (%)
Ene 93	14	0.52	44.5	45.4
Abr- Jul 93	12	0.96	46.5	55.5
Sep-Nov 93	11	0.67	14.9	48.8
Feb-Mar 94	12	0.46	5.3	39.0
Abr-Jul 94	12	0.39	7.4	51.9
Sep- Nov 94	15	0.73	20.1	53.7

Centro				
Período	No. Especies	Densidad (ind/m²)	Biomasa (g/m²)	Biomasa (%)
Ene 93	7	0.58	136.2	87.9
Abr- Jul 93	10	0.80	29.1	66.3
Sep-Nov 93	7	0.40	4.7	17.2
Feb-Mar 94	8	0.38	8.7	45.8
Abr-Jul 94	8	0.68	28.7	86.1
Sep- Nov 94	8	0.57	12.6	64.1

Total				
Período	No. Especies	Densidad (ind/m²)	Biomasa (g/m²)	Biomasa (%)
Ene 93	14	0.54	85.2	69.1
Abr- Jul 93	13	0.89	38.7	58.7
Sep-Nov 93	11	0.62	13.2	44.2
Feb-Mar 94	12	0.43	6.8	42.5
Abr-Jul 94	12	0.51	16.0	72.6
Sep- Nov 94	15	0.67	17.2	56.3

REFERENCIAS

- Abdullah, N., Wibowo, E. S., Irfan, M., Muchdar, F., Malan S. (2020). Seaweed *Kappaphycus alvarezii* cultivation using longline method in Kastela waters, Ternate Island, Indonesia. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 13 (4), 2336-2342.
- Areces, A. J., Cano, M., Valdés-Iglesias, O., Rodríguez Agramonte, F. V. (2024). Introducción General. (p. 8-15). En: Cabrera, R., Areces, A. J. & Díaz-Larrea, J. (Eds). El género *Kappaphycus* (Rhodophyta, Gigartinales). Un estudio de caso en la Plataforma insular cubana I. Seven Editora, São Jose dos Pinhais, Brasil.
- Boesch, D.F. (1977). Application of numerical classifications in ecological investigations of water pollution. *Ecol. Res. Ser., EPA-GOO/3-77-033*, 115 pp.
- Bohnsack, J. A., Bannerot, S. P. (1986). A stationary visual census technique for quantitatively assessing community structure of coral reef fisher. *NOAA Technical Reports NMSF*, 41, 1-15.
- Brock, V. E. (1954). A preliminary report on method of estimating reef fisher populations. *J. Wildl. Manage.*, 18, 297-308.
- Cabrera, R., Areces, A. J., Díaz Larrea, J. (2021). Morfología de *Sargassum*. Arribazones y cultivo en Costa Rica. *Académica Española. Islas Mauricio*, 84 pp.
- Cabrera Guerra, D., Chevalier Monteagudo, P. P., Cobián Rojas, D., Corrada Wong, R. I., Fernández Osoria, R. A., Caballero Aragón, H., Campos Verdecia, K. (2019). Variación espacio - temporal de los peces herbívoros (Acanthuridae y Scaridae) en dos localidades arrecifales de Cuba con diferentes niveles de conservación. *Revista de Investigaciones Marinas*, 38 (2), 67–82.
- Claro, R., Parenti, L.R. (2001). The Marine Ichthyofauna of Cuba. (p: 21-57). En: Claro, R., Lindeman, K.C. & Parenti, L. (Eds). *Ecology of the Marine Fishes of Cuba*. Smithsonian Institution Press, Washington and London.
- Claro, R., García-Arteaga, J. P. (1994 a). Estructura de las comunidades de peces en los arrecifes del grupo insular Sabana-Camagüey, Cuba. *Avicennia*, 2, 83-107.
- Claro, R., García-Arteaga, J.P. (1994 b). Crecimiento. (p.321-402). En: R. Claro (Ed.) *Ecología de los peces marinos de Cuba*. Instituto de Oceanología Academia de Ciencias de Cuba and Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQRO), México.
- Cooke, S.J., Martins, E.G., Struthers, D.P. et al. (2016) A moving target—incorporating knowledge of the spatial ecology of fish into the assessment and management of freshwater fish populations. *Environ. Monit. Assess.*, 188: 239.
- Doty, M.S., Caddy, J.F., Santelices, B. (1987). The production and use of *Eucheuma*. (p. 124–164). En: Doty, M.S., Caddy, J.F. & Santelices, B. (Eds.). *Case studies of seven commercial seaweed resources*. FAO, Italia, Roma.
- Durán, A., González-Díaz, P., Arias, R., Cobián-Rojas, D., Chevalier, P., Figueredo, T., García-Rodríguez, A., Lara, A., Olivera, Y., Perera-Valderrama S., Pina Amargós, F. (2023). Herbivory on Cuban Coral Reefs. (pp: 199-213). En: Zlatarski, V.N., Reed, J.K., Pomponi, S.A., Brooke, S. & Farrington, S. (Eds.). *Coral Reefs of Cuba. Coral Reefs of the World*, vol 18. Springer, Cham.

Herrera, A., Valdés-Muñoz, E., Ibarzábal, D. (1981). Evaluación poblacional del erizo negro, *Diadema antillarum* Phillipi, mediante un diseño de muestreo aleatorio estratificado, y algunos aspectos de su biología. *Ciencias Biológicas*, 6, 61-79.

Jones, R. S., Thompson, R. (1978). Comparison of Florida reef fish assemblages using a rapid visual technique. *Bull of Mar. Sci.*, 28, 159-172.

Kasim, M., Balubi, A. M., Mustafa, A., Nurdin, R., Patadjai, R. S., Jalil, W. (2020). Floating Cage: A New Innovation of Seaweed Culture. (pp:103-118). En: Qian, Lu. & Mohammad, S. (Eds.). *Emerging Technologies, Environment and Research for Sustainable Aquaculture*. London, United Kingdom.

Kasim, M., Mustafa, A., Munier, T. (2016). The growth rate of seaweed (*Eucheuma denticulatum*) cultivated in longline and floating cage. *AAFL Bioflux*, 9 (2), 291-299.

Kasim, M., Asnani, K (2012). *Penentuan musim* reproduksi generative dan preferensi perekatan spora rumput laut *Eucheuma cottoni*. *Ilmu Kelautan*, 17, (4), 209-216.

Margalef, R. (1951). Diversidad de especies en las comunidades naturales. *P. Inst. Biol. Apl.*, 9, 15-27.

Mason, C. F., Bryant, R. J. (1974). The structure and diversity of the animal communities in a broadland reedswamp. *J. Zool.* , 172, 289-302.

Motchek, A., Radakov, D.V., Sibikin, Y., Silva Lee, A. (1975). Distribución diurna de los peces en dos zonas de la plataforma cubana en relación con el tipo de fondo. *Serie Oceanológica*, 29, 1-15.

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.

Shannon, C.E., Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. The University of Illinois Press, Urbana, IL.

Sierra, L.M., Claro, R., Popova, O.A. (2001). Trophic Biology of the Marine Fishes of Cuba. (p: 115-148). En: Claro, R., Lindeman, K.C. & Parenti, L. (Eds). *Ecology of the Marine Fishes of Cuba*. Smithsonian Institution Press, Washington and London.

Sierra, L. M., Claro, R., Popova, O. A. (1994). Alimentación y relaciones tróficas. (p: 263- 320). En: Claro, R. (Ed.), *Ecología de los peces marinos de Cuba*. Instituto de Oceanología, Academia de Ciencias de Cuba y Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQRO), México.

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, 100685.

StatSoft, Inc. (2001). *STATISTICA* (data analysis software system), version 6. www.statsoft.com. Tulsa, OK.: StatSoft, Inc

Pielou, E.C. (1966) *The Measurement of Diversity in Different Types of Biological Collections*. *Journal of Theoretical Biology*, 13, 131-144.

DINÁMICA, ESTACIONALIDAD Y COMPOSICIÓN COMPARATIVA DE LA FAUNA ASOCIADA A *Kappaphycus alvarezii*, *K. striatus* Y DOS MACROALGAS AUTOCTÓNAS Y SU RELACIÓN CON EL CRECIMIENTO

  10.56238/livrosindi202431-002

José A. de la Torre-Chang

Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba

Rubén Cabrera

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

Alejandro Serpa-Madrigal

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

Arsenio J. Areces

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

RESUMEN

Las comunidades de invertebrados marinos desempeñan un papel clave en el mantenimiento de la biodiversidad y la senescencia de las macroalgas. Se diseñaron dos experimentos para conocer como tiene lugar la colonización de la epifauna autóctona sobre especies foráneas y nativas de macroalgas, con el objetivo de identificar los efectos que este proceso genera en el vegetal, así como para comparar la colonización en dos momentos del ciclo anual, atendiendo a la sucesión en el asentamiento y evolución de los grupos que componen esta epifauna. Ambos experimentos se realizaron en la rada del Instituto de Oceanología, ubicada en el litoral norte de la ciudad de La Habana. El primero tuvo lugar desde octubre /1992 a octubre/1993, determinándose la densidad de la fauna asociado al cultivo de *Kappaphycus alvarezii* y su crecimiento en un sistema de cuerdas suspendidas. El segundo experimento abarcó dos momentos del ciclo anual, el invierno (marzo de 1993) y el verano (julio de 1994), e involucró a las especies *Kappaphycus striatus*, *K. alvarezii*, *Alsidium triquetrum* y *Galaxaura* spp., las que fueron ubicadas en bolsas tejidas de nylon. La tasa de crecimiento relativo (TCR) de *K. alvarezii* cultivado fue mayor en verano que en invierno, lo cual puede asociarse a una menor fragmentación de las plantas, al incremento de la temperatura y a una comunidad de epibiontes más estable. La densidad total de la fauna fue mayor en las especies autóctonas que en las introducidas debido fundamentalmente a la textura y la morfología que presentan estas últimas. En invierno el índice de asimetría (IA) decreció en las cuatro especies, y resultó crítico en *K. striatus* lo que pudiera denotar un deterioro de las condiciones fitosanitarias durante el cultivo, ocasionado por la colonización que tiene lugar en este periodo climático.

SUMMARY

Marine invertebrate communities play a key role in maintaining biodiversity and senescence of macroalgae. Two experiments were designed to understand how the colonization of native epifauna on foreign and native species of macroalgae takes place, with the aim of identifying the effects that this process generates on the plant, as well as to compare colonization at two moments of the annual cycle, taking into account the succession in the settlement and evolution of the groups that make up this epifauna. Both experiments were carried out in the bay of the Institute of Oceanology, located on the northern coast of the city of Havana. The first took place from October/1992 to October/1993, determining the density of the fauna associated with the cultivation of *Kappaphycus alvarezii* and its growth in a system of suspended ropes. The second experiment covered two moments of the annual cycle, winter (March 1993) and summer (July 1994), and involved the species *Kappaphycus striatus*,

K. alvarezii, *Alsidium triquetrum* and *Galaxaura* spp., which were located in nylon woven bags. The relative growth rate (TCR) of cultivated *K. alvarezii* was higher in summer than in winter, which may be associated with less plant fragmentation, increased temperature and a more stable epibiont community. The total density of the fauna was higher in the native species than in the introduced ones, mainly due to the texture and morphology that the latter present. In winter the asymmetry index (AI) decreased in the four species, and was critical in *K. striatus*, which could denote a deterioration in phytosanitary conditions during cultivation, caused by the colonization that takes place in this climatic period.

Palabras clave: Anfípodos, Biomasa, Densidad, Epifauna, Tasa de crecimiento.

1 INTRODUCCIÓN

Las comunidades de invertebrados que habitan en las algas, juegan un papel muy importante en los procesos de transformación de la energía (Covich *et al.*, 1999). Esta epibiosis es una comunidad, que se estructura mediante un conjunto de hábitats y niveles de subordinación biológica (Veiga *et al.*, 2014), temas que han sido abordados al detalle por: Aoki & Kikuchi (1990) y Pacheco *et al.* (2011).

Producto del efecto causado por la fauna en los vegetales, numerosos son los estudios que evalúan los impactos que se derivan de estas interacciones, y es un hecho comprobado, que la abundancia y diversidad de la fauna asociada, está mejor representada en hábitats con vegetación que en los sustratos desprovistos de ella (Hemminga & Duarte, 2000).

Aunque las áreas con vegetación; no son en ocasiones favorables como zonas de cultivo para *Kappaphycus* (ver Areces, 1995), particularmente cuando la cobertura del sustrato es masiva, otras especies por su condición invasora, son capaces de adaptarse fisiológicamente a factores muy adversos, lo cual no les representa un inconveniente (Mercado *et al.* 2022).

Si bien un hábitat más complejo aumenta el espacio disponible y la variedad de recursos (Cabrera *et al.*, 2022), esta complejidad estructural, sin embargo, también podría influir en varios factores como la competencia (Edgard, 1983), la depredación (Warfe & Barmuta, 2004) y el estrés ante el oleaje (Gregg & Rose, 1982). Ello podría según refiere Orav-Kotta & Kotta (2004), redundar en un aumento de los recursos alimentarios. De esto se desprende que los macrófitos de hábito más complejo, albergarán conjuntos de invertebrados más diversos y con más especímenes que aquellos macrófitos con morfología simple, (Chemello & Milazzo, 2002). No obstante, la relación positiva entre la complejidad estructural de los macrófitos, con la abundancia y diversidad de su fauna colonizadora no siempre puede relacionarse (ver Cremona *et al.*, 2008) lo cual determina que este problema merezca una exploración más detallada (ver Hansen *et al.*, 2010).

La determinación de dimensiones fractales en un hábitat, que proporciona una expresión numérica de su complejidad, no es fácil de calcular. Una opción para evaluar esta complejidad estructural, independientemente de la naturaleza del hábitat, está relacionada con la escala a la que este puede ser percibido por el investigador o por las jerarquías de tamaño de los animales que lo ocupan (Gee & Warwick, 1994). Una aproximación a este análisis ha sido efectuada con macroalgas en la plataforma de Cuba, destacándose los aportes de Areces *et al.* (1992) y Cabrera *et al.* (2022) con algunas especies como modelo. Sin embargo, este enfoque es abordado por primera vez con el género *Kappaphycus* en la plataforma insular cubana.

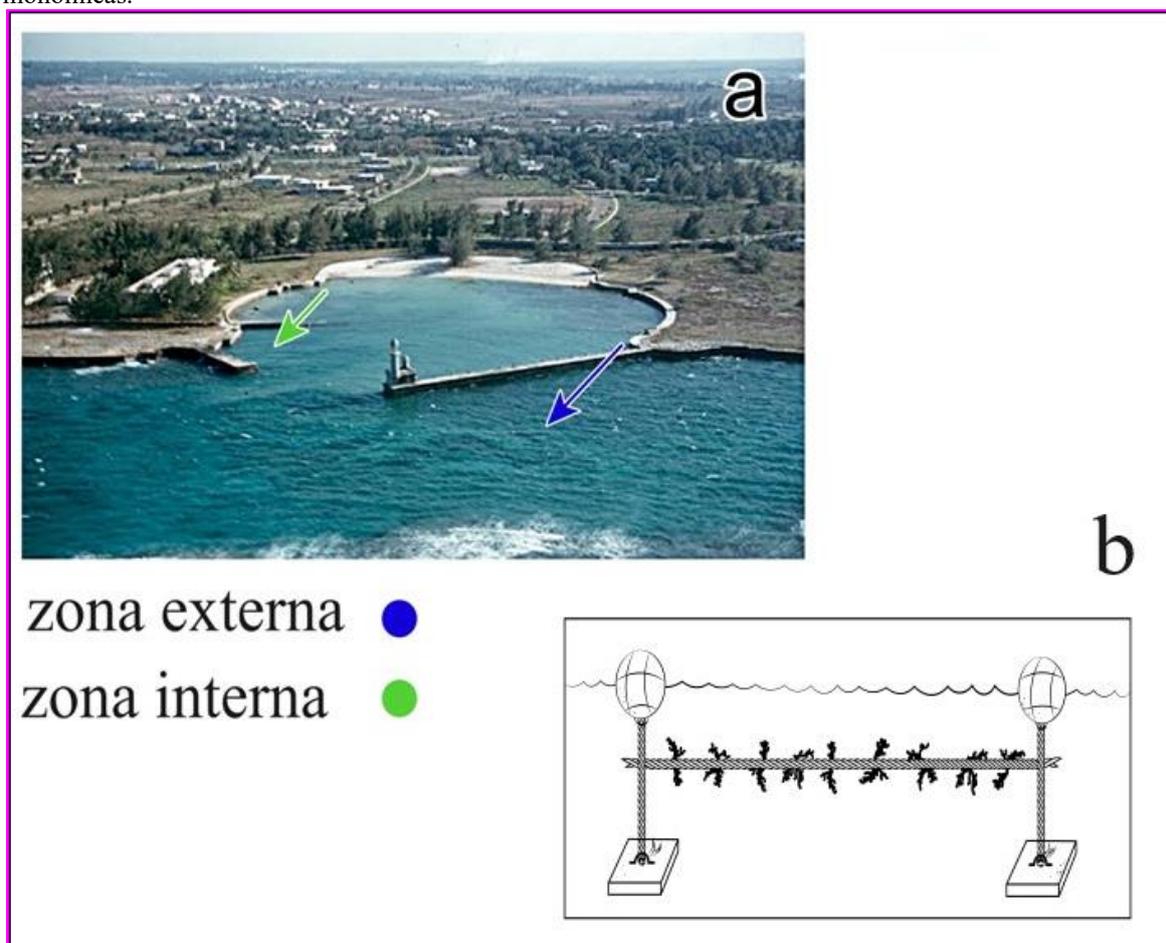
En la presente investigación se compara la composición general de la comunidad asociada a las carragenófitas introducidas: *Kappaphycus striatus* y *K. alvarezii* con dos especies autóctonas del ecosistema arrecifal, *Alsidium triquetrum* y *Galaxaura* spp., con vista a identificar los efectos que esta fauna produce sobre el vegetal, y conocer de manera comparativa la influencia que tienen dos momentos del ciclo anual, en el asentamiento y la evolución de los grupos que componen esta epifauna.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ZONA DE ESTUDIO Y GENERALIDADES

Los ensayos de cultivo se realizaron en la rada del Instituto de Oceanología ubicada en el litoral norte de la ciudad de La Habana a un kilómetro aproximado de Río Quibú (**Figura 1 a**). En el invierno (marzo de 1993) y verano (julio de 1994) se desarrollaron los estudios de fauna. Los realizados para determinar la fauna asociada y el crecimiento de *Kappaphycus alvarezii* tanto en la zona externa como interna de la rada se extendieron desde octubre del 1992 a octubre de 1993. Las monolíneas empleadas para la sujeción del material se fijaron al fondo mediante boyas (**Figura 1b**).

Figura 1. Zona de estudio donde se hizo el estudio de la fauna asociada en bolsas de nylon (Experimento II), y se determinó la tasa de crecimiento relativa (TCR) de *Kappaphycus alvarezii* (Experimento I) mediante la técnica de sujeción directa a las monolíneas.



Fuente: Autoría propia.

2.1.1 Fauna asociada y crecimiento de *Kappaphycus alvarezii*. Experimento I

Los sitios de muestreo se encontraban en dos zonas; una en las inmediaciones de la rada, con mayor influencia del oleaje y una más protegida, en su interior (**Figura 1 a**). Se emplearon 2000 g biomasa de *Kappaphycus*. Esta biomasa se fragmentó al igual que en el otro experimento, en porciones de 25 g, las que se colocaban en una monolínea a intervalos regulares de 20 cm de distancia. El material situado sobre monolíneas era recogido mediante bolsas plásticas, cada 10 días y llevado al laboratorio donde se tamizaba y conservaba todo el material de la fauna. Este se fijaba en formalina al 10% para su posterior identificación en bolsas rotuladas. El material vegetal, por su parte era pesado utilizándose una balanza de plato de 0.01 g de precisión, después de extraídos los organismos. Las tendederas con todo el material vegetal eran nuevamente situadas en las estructuras (**Figura 1 b**). Esto se repetía cada 10 días, tres veces al mes con una cantidad de material equivalente. Al comenzar el próximo mes se iniciaba nuevamente el proceso de siembra y colecta de la fauna asociada.

2.1.2 Fauna asociada a cuatro especies de macroalgas

Se utilizaron 25 g de biomasa de cuatro especies de macroalgas; las dos introducidas, *Kappaphycus striatus* y *K. alvarezii* y otras dos autóctonas *Alsidium triquetrum* y *Galaxaura* spp, cuyas porciones se ubicaron en el interior de bolsas tejidas de nylon con una abertura de 5 mm, en cuerdas subsuperficiales, resuspendidas a 0.25 m de la superficie, en un sitio con una profundidad de 2.5 m. De cada uno de los especímenes utilizaron seis ejemplares. Siempre se emplearon tres ejemplares como réplicas en los dos períodos de muestreo seleccionados; a los 14 y 42 días de su ciclo de cultivo. Al momento de la colecta se tomaban tres ejemplares por especie, restando tres ejemplares para la segunda colecta a los 42 días. El material se tamizó con un tamiz de 0.2 mm de abertura.

2.1.3 Procesamiento de datos

Las densidades totales de los organismos, y las densidades por grupo fueron calculadas con el objetivo de eliminar el efecto derivado de las diferencias de biomasa, y en base a la relación organismos/biomasa del sustrato, se hallaron las proporciones de cada grupo dentro de la muestra.

Para los contrastes estadísticos se empleó el Test no-paramétrico de Kolmogórov-Smirnov para indicar las diferencias entre medianas (Rigby *et al.*, 2019).

Para calcular la equitatividad comunitaria se utilizó el Índice de Asimetría (IA)

$$IA = [\sum (Ni/Nt - 1/k)^2]^{1/2} \text{ (Areces et al., 2020).}$$

Donde, Nt es el número total de organismos, Ni es el número de organismos por grupo, y k es el número de grupos. El índice de asimetría oscila entre 0 y 1, lo que indica desde una total uniformidad hasta 0 con una total asimetría comunitaria.

El Coeficiente de variación (CV), se obtuvo por su parte mediante la expresión:

$$CV = F (s/x) \text{ (Sokal \& Rohlf, 1981)}$$

donde, s es la desviación estándar, y x corresponde a la media muestral. Mientras que F es el factor de corrección para el sesgo. Este factor (F) depende de la fórmula

$$F = 100 (1 + 1/4 n) \text{ (Sokal \& Rohlf, 1981)}$$

siendo, n es el número de datos puntuales.

La tasa de crecimiento relativo (**TCR**) para *K. alvarezii* se calculó como:

$$\text{TCR} = [(\ln W_f / \ln W_i)^{1/t} - 1] \times 100 \text{ (Yong et al., 2013)}$$

donde ln = logaritmo natural, W_f y W_i son los pesos húmedos de cada talo (g) en los tiempos, f = biomasa final e i =con biomasa inicial y (t) es el tiempo en días.

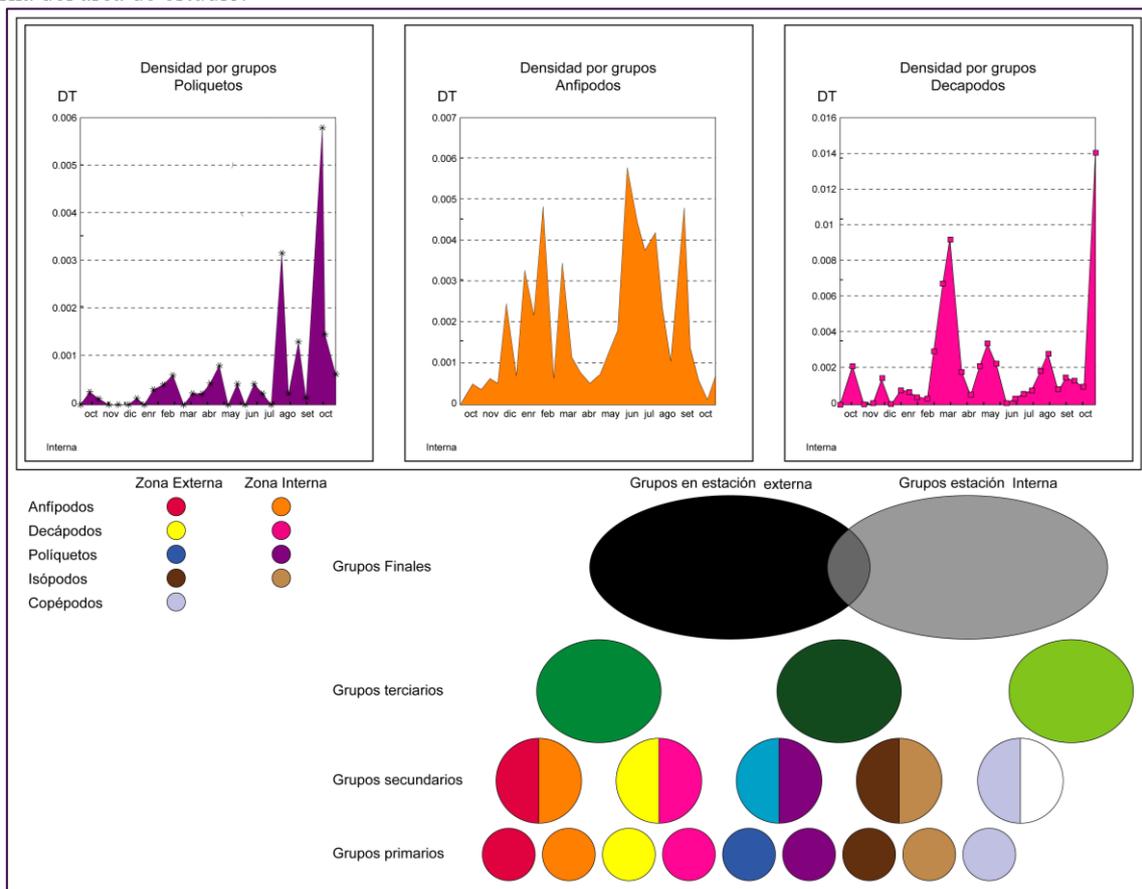
Debido al elevado número de muestras de las categorías faunísticas que colonizan *Kappaphycus alvarezii*, en el experimento I, los resultados se agruparon artificialmente para garantizar una mejor interpretación según sugiere Gibbons & Quijón (2023). Como grupo primario, en el presente estudio, se entienden las categorías taxonómicas (anfípodos, copépodos, decápodos, isópodos y poliquetos) en cada zona (externa e interna). Al existir duplicidad de información por haber dos zonas de muestreo: interna y externa, a un mismo grupo taxonómico le fue asignado un patrón de coloración en correspondencia con la zona. Como segundo nivel de agrupación (secundarios), se le otorgo un patrón bicolor, sumatorio de ambas zonas en un mismo grupo. Los terciarios estarán conformados por dos taxones en las dos áreas (externa e interna) de la rada. Finalmente, todos los datos agrupados van a resumirse en la información general de la zona externa e interna.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 FAUNA ASOCIADA Y TCR DE *Kappaphycus alvarezii*. EXPERIMENTO I

La agrupación generada expresa de forma coherente la dinámica de la fauna colonizadora al menos en los niveles: primarios y secundarios (**Figura 2**). Los estudios con una data muy robusta, y que optan por la fusión de los grupos focales para condicionar artificialmente generalizaciones; más que explicar, terminan por enmascarar los resultados y hacer inviables las interpretaciones (Stadtländer *et al.*, 2010). Razón por la cual la utilidad de este modelo es limitada, al menos en las condiciones de esta investigación, pues los grupos focales como poliquetos, anfípodos y copépodos entre otros, siguen considerándose por sí solo de mucha utilidad.

Figura 2. Estrategias de agrupamientos para los grupos de la macrofauna en *Kappaphycus alvarezii*. para la zona interna y externa del área de estudio.



Fuente: Autoría propia.

El porcentaje de anfipodos resultó visiblemente mayor con respecto a los otros grupos, tanto en la zona del exterior como en la zona del interior a lo largo del ciclo anual a pesar de la heterogeneidad de la fauna encontrada (**MATERIAL SUPLEMENTARIO TABLA II y III**). Esta dominancia de anfipodos se hizo más fuerte durante los meses de invierno (**Figura 3**), coincidiendo con los resultados obtenidos por Cabrera *et al.*, (2022) en *Alsidium* y Lalana (1984) en Cladophorales y Ulvales. No menos importante, es la fidelidad de los anfipodos a ciertos patrones de coloración en *K. alvarezii*, donde Lopes & Rosso (2005) establecen que la mayor abundancia de los estos invertebrados se vincula preferentemente a la cepa verde en los ensayos de laboratorio que los mismos realizaron.

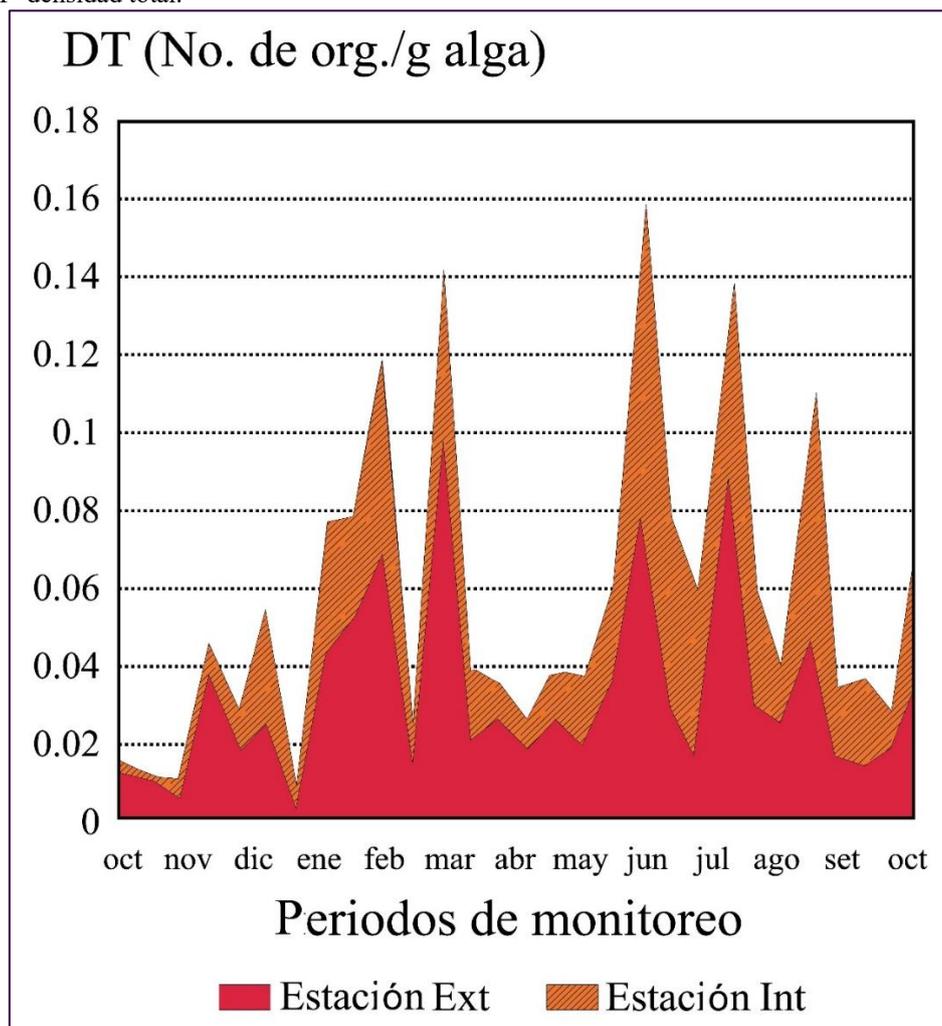
No obstante, a pesar de ser en invierno más frecuentes los anfipodos en la zona interior, aparecen también en notables cantidades en verano; específicamente en los meses de julio y agosto y aunque se observaron en estos dos meses valores superiores en la estación exterior, no se encontraron diferencias significativas entre zonas ($KS=0.484$).

Los coeficientes de variación de las proporciones de anfipodos, al igual que la de los decápodos e isópodos fueron similares entre las dos estaciones en los cuatro períodos climáticos, y

no presentaron diferencias significativas ($KS= 0.69$, $KS=0.69$ y $KS=0.799$, respectivamente). Considerando los tres grupos que se suceden en orden de importancia en la comunidad, y su no diferenciación desde el punto de vista numérico, es lícito concluir que la dinámica en todos los grupos puede ser semejante en ambas zonas. Los anfípodos, fueron refrendados como organismos focales que cumplen funciones ecológicas clave, como la transferencia de energía a niveles tróficos superiores o el reciclaje de la materia orgánica.

Los resultados de Navarro-Mayoral *et al.* (2023) evidencian que, los patrones de variación en la comunidad de anfípodos están determinados principalmente por atributos estructurales, entre ellos los que aumentan la disponibilidad del hábitat (es decir, el área foliar como sustrato) y la heterogeneidad (expresada en su abundancia) tanto para los pastos marinos como para las macroalgas. Otros factores como por ejemplo el movimiento de agua, tampoco pueden subestimarse cuando se analiza la estructura de estas comunidades (Koehl & Daniel (2022).

Figura 3. Variación estacional de la densidad total anfípodos asociados a *Kappaphycus alvarezii* a lo largo del ciclo anual ($KS=0.484$). DT=densidad total.



Fuente: Autoría propia.

El registro mensual de la biomasa de *Kappaphycus*, expresada como tasa de crecimiento relativo (TCR), y su asociación con el registro de la temperatura superficial promedio mensual se muestra en la Fig.4. El crecimiento que reflejó *Kappaphycus alvarezii* en las monolneas de cultivo fue consistente con las tasas de crecimiento de la especie en la plataforma insular de Cuba (Areces *et al.*, 2014) (**Figura 4**).

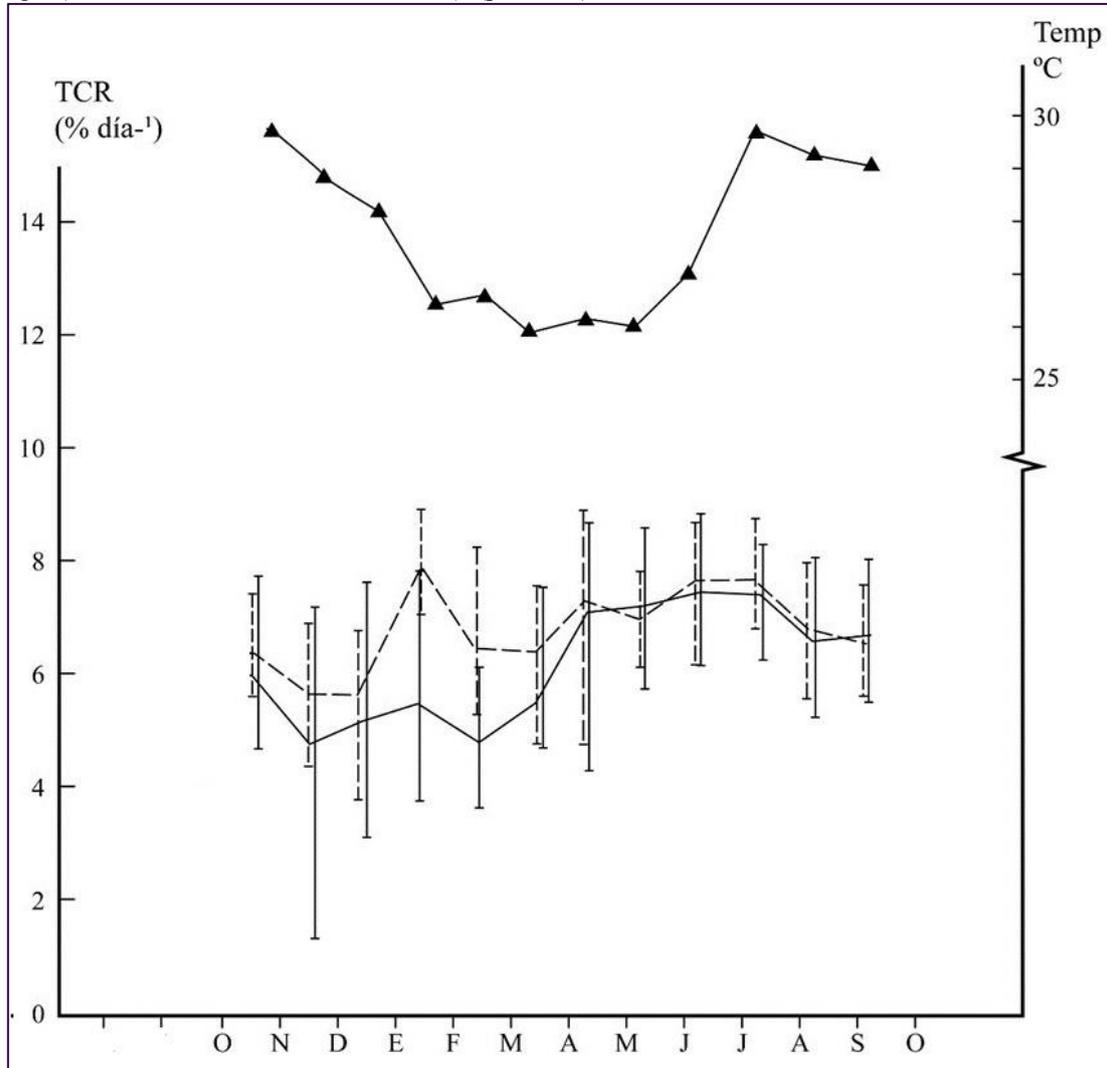
Los ejemplares de la zona externa de la rada, presentaron coeficientes de variación más elevados, que las réplicas del interior, más protegidas ante el embate oceánico. Estos resultados coinciden con Glenn & Doty (1992), quienes consideran que la exposición al oleaje redundaría en menores registros de producción, debido a las pérdidas de biomasa por la fragmentación.

Hurtado *et al.*, (2001) al comparar varias técnicas de cultivo, determinaron que los meses de enero y febrero fueron los de mayor producción, coincidente con los resultados obtenidos en la rada. Sin embargo, las fluctuaciones del crecimiento en la zona externa de este sitio fueron considerablemente mayores, lo que se le atribuye posiblemente a la pérdida producida por el batimiento oceánico. Existe, no obstante, una tendencia a la estabilización desde los meses de julio a septiembre, típico de época estival (**Figura 4**). Durante los meses de julio, agosto y septiembre, Kasim *et al.*, (2021), determinaron niveles sostenibles de crecimiento, pero pudieron diferenciar los ejemplares que se desarrollaron en condiciones naturales de los cultivados en laboratorio. Aunque en la presente investigación no se realizaron correlaciones entre la fauna asociada, el crecimiento, la temperatura o el movimiento del agua; como elementos disruptivos, es posible observar que, el periodo de mayor dispersión de los datos de crecimiento se corresponde con la época invernal, donde hay un incremento de anfípodos, lo que es válido para los experimentos I y II. Otro elemento a considerar es que, en invierno, ocurre una mayor fragmentación de *Kappaphycus* debido al batimiento oceánico como lo sugerido por Gunalan *et al.*, (2010), lo que parece suceder en esta época, ya que es más acusado en la zona externa de la rada en el invierno.

Los valores de crecimiento en verano, no parecen estar influenciados tanto por la fauna colonizadora, en ninguno de los experimentos que vincularon a *Kappaphycus* (**Figs. 5 - 8**). Si parecen estarlo por un incremento de la temperatura y la posible disminución de la fragmentación. Debido a la concepción original del diseño experimental, estos resultados solo permiten hipotetizar una relación entre algunos grupos de la fauna con el crecimiento de *Kappaphycus alvarezii* en la rada. Situación que es muy diferente a los resultados de Rajendran *et al.*, (2021), quienes observaron que el crecimiento de *K. alvarezii* se correlacionaba negativamente con las densidades del zooplancton, y el macrobentos y meiobentos de los sedimentos; al parecer esta relación en el presente estudio se relaciona indirectamente debido a la disminución de microalgas, base alimentaria de aquellos

organismos que se alimentan de estas. Lo que también puede asociarse a una disminución de nutrientes en el agua en la época estival.

Figura 4. Tasa de crecimiento anual relativo (TCR) de *Kappaphycus alvarezii* en dos zonas de la rada, Instituto de Oceanología (----, zona interna, —, zona externa). ($p < 0.05^*$).

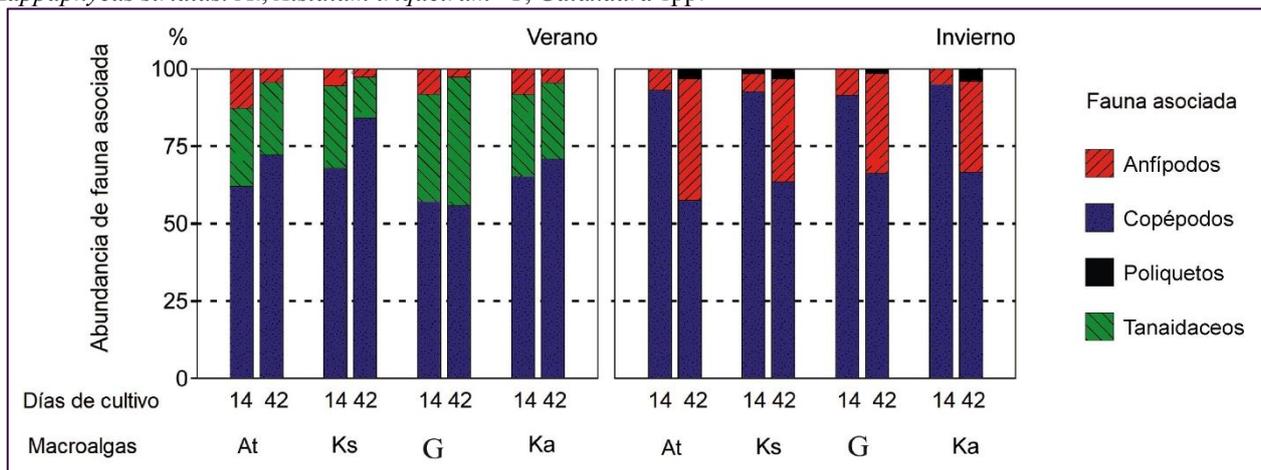


Fuente: Autoría propia.

3.2 FAUNA ASOCIADA A CUATRO ESPECIES DE MACROALGAS. EXPERIMENTO II

En atención a la composición por grupos de la fauna asociada a las cuatro macroalgas, el 75.1% correspondió a los copépodos, seguidos de anfípodos con el 21.4% y los poliquetos que alcanzaron el 1.4% los que fueron más abundantes en el invierno. En el verano como en invierno, los copépodos resultaron los más abundantes, con un 59.9% para el verano seguidos por los anfípodos con un 4.8%, acompañados a su vez por los tanaídaceos los cuales representaron el 23% de la densidad total en verano (**Figura 5**).

Figura 5. Principales grupos de la mesofauna asociada a cuatro especies de macroalgas. Ka, *Kappaphycus alvarezii*. Ks, *Kappaphycus striatus*. At, *Alsidium triquetrum*. G, *Galaxaura* spp.



Fuente: Autoría propia.

En invierno se observó una disminución brusca de los copéodos a lo largo de la sucesión desde un 91.4% al 58.8%, mientras que los anfipodos y poliquetos incrementaron su densidad al aumentar de un 6.71 al 36.2% y del 0.3 al 2.6% respectivamente. De esta forma la equitatividad de la comunidad aumenta o lo que es lo mismo disminuyó el índice de asimetría (ver **Figura 8**). De todos los grupos, el más abundante y que le otorgó un carácter bastante asimétrico a la composición de la epifauna invernal fue el de los copéodos cuyo porcentaje global fue del 75.1%. En verano las proporciones de los grupos se mantuvieron básicamente estables desde los 15 hasta los 45 días de la sucesión detectándose solo variaciones leves en dichas proporciones. Los copéodos solo fluctuaron de un 56.7 a un 63.15%.

Atendiendo los valores de densidad total, (**Figura 6, Tabla I**) las algas autóctonas *Alsidium triquetrum* y *Galaxaura* spp., presentaron valores significativamente mayores que los de las dos especies introducidas del género *Kappaphycus*, tanto para el invierno (KS= 0.003) como en el verano (KS=0.03). Esto se debe posiblemente al tipo de hábito que poseen las especies introducidas, las cuales además de presentar una superficie lisa y ciertamente más refractaria a la deposición de sedimentos, su hábito es abierto y poco críptico cuando alcanzan un gran tamaño, características morfológicas que son consistentes con lo apuntado por Doty (1985).

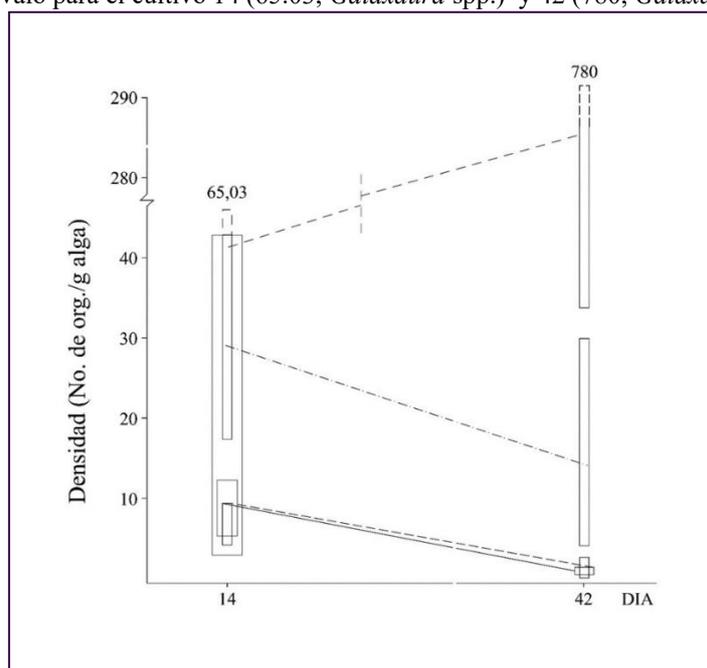
Galaxaura spp., manifestó en buena medida condiciones fisiológicas estresantes en cuanto a su persistencia en el interior de bolsas de malla. Ello provocó la pérdida de biomasa, el surgimiento de condiciones de senescencia y el incremento de espibiones asociados tróficamente a la depauperación de su talo, lo cual generó un aumento de horadores y ramoneadores con un incremento en la disponibilidad de detrito. Varias especies que, usualmente son cultivadas, muestran un profuso crecimiento meristemático y debido a los roces frecuentes presentan denudaciones de los

extremos distales de las frondas (Broch *et al.*, 2022). El detrito liberado, sin embargo, es una fuente importante de alimento y hábitat para bacterias, macro y meiofauna (Harbour *et al.*, 2021).

Cuando se compararon entre si los periodos de 14 y 42 días en el transcurso de la colonización pudieron observarse una notable diferencia en el monto de la densidad total de los individuos asociados. A los 14 días la densidad total de individuos fue mayor que a los días 42-44 en ambos periodos (**Figura 7**). Este hecho pudiese ser asociado a la evolución que experimenta la epibiosis a medida que incrementa su madurez. Koehl & Daniel (2022), exponen varios argumentos sobre las complejas relaciones de epibiontes y hospederos, y coinciden en que, en muchas comunidades en las etapas tardías, el número de individuos disminuye debido a los procesos de selección natural, producto fundamentalmente de la competencia.

En verano el valor de simetría obtenido en los días 15 y 45 no presentó diferencias significativas (KS= 0.517 NS) (**Figura 8**). Ello le confiere a este periodo un carácter de mayor estabilidad ambiental al alcanzarse la madurez con mayor rapidez, lo que denota una mayor heterogeneidad en la composición de la epibiosis, hecho en correspondencia con los resultados de Cabrera *et al.*, (2022). No puede soslayarse el hecho de que durante el verano la rada tuvo grandes picos en la extensión del manto algal cultivado, y este se ubicó en las cercanías del área experimental. Cabe suponer que la migración de la epifauna asociada a ellos hacia las muestras evaluadas pudo incidir en una rápida estabilización de las comunidades.

Figura 6. Densidad media total de epibiontes en dos etapas del cultivo (14 y 42 días) para cuatro especímenes de macroalgas. *K. alvarezii* cepa parda (----), *K. striatus* (—), *Alsidium triquetrum* (-·-·-) y *Galaxaura* spp. (— · — · —). Valores totales de la densidad de epibiontes y estadígrafos asociados se resumen en la Tabla I. Las cotas verticales son los valores extremos. [Intervalo para el cultivo 14 (65,03, *Galaxaura* spp.) y 42 (780, *Galaxaura* spp.)].



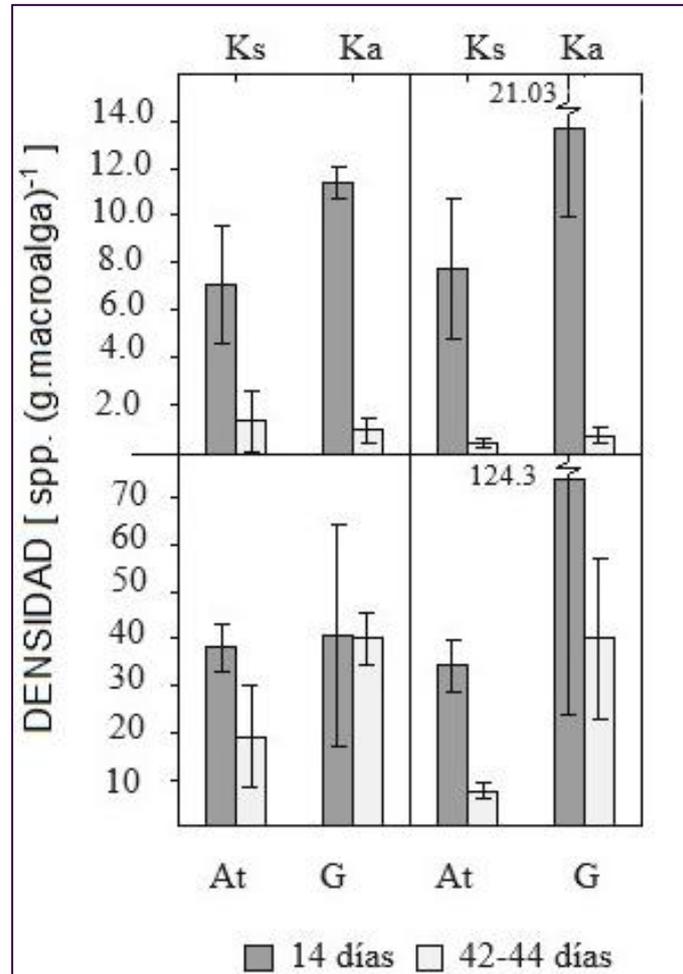
Fuente: Autoría propia.

Tabla I. Fauna asociada a cuatro macrolagas cultivadas: *Kappaphycus striatus* (K.s.), *Kappaphycus alvarezii* (K.a.), *Alsidium triquetrum* (A. t.) y *Galaxaura* spp. (G.). Los números asociados a las abreviaciones de las especies corresponden con cada ejemplar usado como réplica.

DIA 14	Taxa	K. s. 1	K. s. 2	K. s. 3	K. s. 4	K. a. 1	K. a. 2	K. a. 3	A. t. 1	A. t. 2	A. t. 3	G. 1	G. 2	G.3
Estadígrafos	copépodos	1004	1496	287	809	1607	1850	1253	1450	2329	2877	624	3346	999
	anfipodos	125	69	15	63	89	89	29	218	213	0	82	208	129
	poliquetos	6	10	5	3	7	14	7	3	2	1	1	4	2
	otros	6	17	5	11	19	13	18	44	42	41	48	64	40
	suma	1141	1592	312	886	1722	766	1307	1715	2586	2919	755	3622	1170
	promedio	245	224	32	120	142	172	120	53	63,5	68	43,5	55,7	28
	mediana	4,66	7,11	9,75	7,38	12,13	5,62	10,89	3,24	40,72	42,93	17,36	65,03	41,79
DIA 42	Taxa	K. s. 1	K. s. 2	K. s. 3	K. s. 4	K. a. 1	K. a. 2	K. a. 3	A. t. 1	A. t. 2	A. t. 3	G. 1	G. 2	G.3
Estadígrafos		K.s. 5	K.s.6			K.a. 6	K.a. 4	K.a. 5	A.t.6	A.t.7	A.t.5	G.4	G.5	G.6
	promedio	550	744	-----	-----	933	1006	571	1325	1075	881	2083	1044	1225
	suma	1450	265	-----	-----	1544	660	1063	290	35	98	45	30	157
	Mediana	0,38	2,81	-----	-----	0,6	1,52	0,34	4,57	30,71	8,99	46,29	34,8	780
DIA	Taxa	K. s.	K.a.	A. t.	G.	K. a. 1	K. a. 2	K. a. 3	A. t. 1	A. t. 2	A. t. 3	G. 1	G. 2	G.3
14	Mediana G	7,225	9,547	28,96	41,393									
42	Mediana G	1,595	0,82	14,717	29,63									

*Los números a seguir de las abreviaciones de las especies se corresponden con el ejemplar empleado como réplica. ■ valores extremos. En negrita, valores extremos de la mediana general.

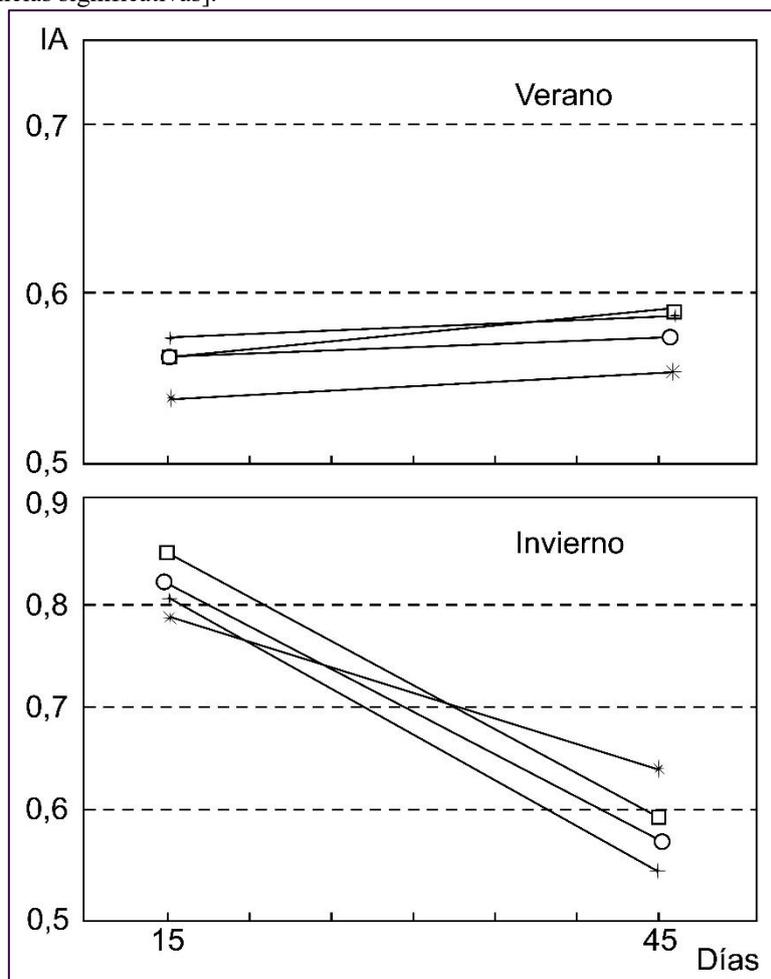
Figura 7. Variación en la densidad de la mesofauna [(g de macroalgas)⁻¹] en cuatro especies cultivadas durante dos periodos de cultivo (14 y 42-44 días) en periodos estacionales extremos. Ks *Kappaphycus striatus*, Ka *Kappaphycus alvarezii*, At *Alsidium triquetrum*, G *Galaxaura* spp. Las barras verticales equivalen a ± 2 SD. (14, KS= 0.034) (42-44, KS= 0.034).



Fuente: Areces *et al.*, 2014 con modificaciones.

En invierno, el IA decrece significativamente (KS= 0.000001*) (**Figura 8**) a medida que se desarrolla la sucesión, lo que coincide con Odum (1969), cuando las condiciones ambientales son estresantes o extremas, y desventajosas para los organismos. Si la situación es recurrente, puede eventualmente convertirse en parte de la evolución normal de la comunidad y ya no sería considerado como un 'estrés' fluctuante (Graham *et al.*, 2010).

Figura 8. Índice de asimetría (IA) en cuatro especies de macroalgas cultivadas *in situ*. *K. striatus* (+), *K. alvarezii* (□), *Alsidium triquetrum* (○) y *Galaxaura* spp. (*). Verano (KS= 0.517 NS), Invierno (KS= 0.000001*). [NS=no diferencias significativas, *=diferencias significativas].



Fuente: Autoría propia.

El índice de asimetría experimentó cambios debido principalmente a las variaciones de las proporciones de los copépodos. Este grupo de invertebrados mantuvo su jerarquía comunitaria a lo largo de toda la sucesión. El fenómeno no coincide con otras observaciones efectuadas en la fauna asociada a otros sustratos donde los organismos presentes en cesta rellenas de barro, muestran una variación del grupo en la etapa terminal de la sucesión siendo ya reemplazado por nemátodos y ostrácodos a partir del día 13 de colocación del material, para ser sustituido definitivamente por los anfípodos después de transcurridos 24 días (Carbajal, 1982). Un hecho similar ocurrió en la comunidad estudiada por Cabrera *et al.*, (2022) donde dicho grupo alcanza a los 10 días valores superiores al 60% para declinar bruscamente en el día 20.

Aunque en el invierno, los valores del IA son muy diferentes al verano, cuando comparamos *Kappaphycus striatus*, *K. alvarezii*, *Alsidium triquetrum* y *Galaxaura* spp., en la época estival no se observaron variaciones significativas (KS=0.517). Ello le confiere a este período un carácter más estable, al alcanzarse la madurez con mayor rapidez. Ello coincide con las observaciones sobre la

epifauna de *Alsidium triquetrum* (Cabrera *et al.*, 2022), los que refieren que en el verano la distribución muestral del número de organismos denota una mayor homogeneidad. En esta misma época veraniega, la migración de la epifauna pudo favorecerse por los cultivos de algas en las inmediaciones de la rada. Ba-Akdah *et al.* (2016) hallaron que en verano las comunidades epifaunales asociadas a *Sargassum*, *Gracilaria* y *Acanthophora* presentaban mayor equitatividad en cuanto a su composición específica, predominando poliquetos, isópodos, gasterópodos, mejillones y cangrejos. En la época invernal; por su parte, en las cinco especies de macroalgas estudiadas en el Mar Rojo por Ba-Akdah solo *Padina* y *Ulva*, no tuvieron predominio de anfípodos y poliquetos (*ob. cit.*). Esta regularidad puede asociarse a la disposición y patrones de arreglo anatómico de las especies con talos planos, *e. g.* *Ulva* y *Padina*, las que proveen menos refugio que las especies ramificadas (ver Chemello & Milazzo, 2002). Generalidad que se cumple en esta investigación, donde las especies con un arreglo anatómico intrincado (*Alsidium* y *Galaxaura*) proveen un mayor número de hábitats

4 CONCLUSIONES

Los mayores incrementos de la TCR de *Kappaphycus* en los sistemas de cultivo, corresponden a la época de verano, en ambos sitios lo que se asocia a un incremento de la temperatura y posiblemente del escurrimiento terrestre por coincidir el hecho con este periodo climático. Mientras que en la época invernal se presenta mayor dispersión en los valores de TCR, más acusados en la zona externa de la rada lo que se debe posiblemente a una mayor fragmentación del vegetal.

En los dos experimentos realizados con las cuatro entidades de macroalgas, el IA para en verano fue menor que en el invierno. La densidad total de individuos en la fauna fue mayor en las especies autóctonas que en las introducidas, debido fundamentalmente a la textura y la morfología que presentan estas últimas, muy diferente a la de las especies autóctonas.

La mayor incidencia en la fauna asociada a *Kappaphycus* sin influencia del cultivo son los copépodos, mientras que, en el segundo experimento, en el cultivo sobre cuerdas, fueron los anfípodos.

REFERENCIAS

- Aoki, M., Kikuchi, T. (1990). Habitat Adaptations of Caprellid Amphipods and the Importance of Epiphytic Secondary Habitats in the Sargassum patens Bed in Amakusa, Southern Japan. Publications from the Amakusa Marine Biological Laboratory, Kyushu University, 10, 123-133.
- Areces, A. J. (1995). Cultivo comercial de carragenófitas del género *Kappaphycus* Doty. (p. 529–550). En: Alveal, K., Ferrario, M.E., Oliveira, E.C. & Sar, E. (Eds.). Manual de métodos ficológicos. Universidad de Concepción, Concepción.
- 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.
- 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., del Valle, R., Ibarzábal, D., Pol, J., Hernández, L. (1992). Características generales de la fauna asociada a cuatro especies de macroalgas del mesolitoral rocoso cubano. Ciencias Biológicas (Cuba), 25, 117-131.
- Ba-Akdah, M. A., Satheesh, S., Al-Sofyani, A. A. (2016). Habitat Preference and Seasonal Variability of Epifaunal Assemblages Associated with Macroalgal Beds on the Central Red Sea Coast, Saudi Arabia. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 96, 1457–67.
- Broch, O.J., Hancke, K., Ellingsen, I.H. (2022). Dispersal and Deposition of Detritus From Kelp Cultivation. Frontiers in Marine Science, 9, 840531.
- Broch, O.J., Hancke, K., Ellingsen, I.H. (2022). Dispersal and Deposition of Detritus from Kelp Cultivation Frontiers in Marine Science. 9, 840531.
- Cabrera, R., Areces, A., Díaz-Larrea, J., Sahu, S., Cruz-Aviña, J., Nuñez-García, L. G. (2022). Population Dynamics of Colonizing Fauna and Its Effect on Growth Rates of the Farmed Red Alga *Alsidium triquetrum* (S. G. Gmelin) Trevisan. Natural Science, 14, 42-55.
- Carbajal, A. J. (1982). Primeros resultados del índice de comparación de secuencias (ICS) a muestras del bento marino. Tesis de licenciatura en Biología, Universidad de La Habana, 20 pp.
- Chemello, R., Milazzo, M. (2002). Effect of algal architecture on associated fauna: some evidence from phytal molluscs. Marine Biology, 140, 981-990.
- Covich, A.P., Palmer, M.A., Crowl, T.A. (1999). The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems: Zoobenthic species influence energy flows and nutrient cycling. Bio Science, 49, 119–127.
- Cremona, F., Planas, D., Lucotte, M. (2008). Biomass and composition of macro- invertebrate communities associated with different types of macrophyte architectures and habitats in a large fluvial lake. Fundamental and Applied Limnology, 171 (2), 119-130.

- Doty M. S. (1985). *Eucheuma alvarezii*, sp. nov. (Gigartinales, Rhodophyta) from Malaysia. (p: 37–45). En: Taxonomy of economic seaweeds: with reference to some Pacific and Caribbean species. Abbott, I. A. & Norris, J. N. (Eds), California Sea Grant College Program, Rep.T-CSGCP-011, La Jolla.
- Edgar, G.J. (1991). Artificial algae as habitats for mobile epifauna: factors affecting colonization in a Japanese *Sargassum* bed. *Hydrobiologia*, 226, 111–118.
- Edgard, G.J. (1983). The ecology of south-east Tasmanian phytal animal communities. IV. Factors affecting the distribution of amphitoid amphipods among algae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 70, 205e225.
- Gee, J.M., Warwick, R.M. (1994). Metazoan community structure in relation to the fractal dimensions of marine macroalgae. *Marine Ecology Progress Series*, 103, 141e150.
- Gibbons, E.G., Quijón, P.A. (2023). Macroalgal features and their influence on associated biodiversity: implications for conservation and restoration. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1304000.
- Glenn, E. P., Doty, M. S. (1992). Water motion affects the growth rates of *Kappaphycus alvarezii* and related red seaweeds. *Aquaculture*, 108, (3–4), 233-246.
- Graham, J.H., Raz S., Hel-Or H., Nevo, E. (2010). Fluctuating Asymmetry: Methods, Theory, and Applications. *Symmetry*, 2, 466–540.
- Gregg, W.W., Rose, F.L. (1982). The effects of aquatic macrophytes on the stream microenvironment. *Aquatic Botany*, 14, 309e324.
- Gunalan, B., Kotiya, A. S., Jetani, K. L. (2010) Comparison of *Kappaphycus alvarezii* growth at two different places of Saurashtra region. *European Journal of Applied Sciences*, 2, 10-12.
- Hansen, J.P., Sagerman, J., Wikstrom, S.A. (2010). Effects of plant morphology on small-scale distribution of invertebrates. *Marine Biology*, 157, (10), 2143-2155.
- Harbour, R. P., Smith, C. R., Fernandes, T. F., Sweetman, A. K. (2021). Trophic ecology surrounding kelp and wood falls in deep norwegian fjords. *Deep Sea Res. Part I Oceanograph. Res. Papers* 173, 103553.
- Hemminga, M.A., Duarte, C.M. (2000) *Seagrass Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hurtado, A. Q., Agbayani, R. F., Sanares, R. de Castro-Mallare, M. T. R. (2001). The seasonality and economic feasibility of cultivating *Kappaphycus alvarezii* in Panagatan Cays, Caluya, Antique, Philippines, 199, 3–4.
- Kasim, M., Balubi, A.M., Astuti, O., Rahman, A., Sofyan Patadjai, R., Muskita, W., Takwir, A., Bahtiar, R. Jalil, W.(2021). Comparison between the growth of *Kappahycus alvarezii* (Rhodophyta) seed from tissue culture and clone selection cultivated using horizontal net. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 7, 2, 179-184.
- Koehl, M.A.R., Daniel, T.L. (2022). Hydrodynamic Interactions Between Macroalgae and Their Epibionts. *Frontiers in Marine Science*, 9, 872960.

- Lalana, R. (1984). Fauna asociada a las comunidades de algas en la laguna costera El Basto. *Revista de Investigaciones Marinas*, 5, 3-8.
- Lopes, E. S. F., Rosso, S. (2005). Effects of season and color variants of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) on the abundance of associated amphipods. *Nauplius*, 13 (1), 71-76.
- Mercado, J. M., Gómez-Jakobsen, F., Korbee N., Avilés, A, Bonomi-Barufi, J., Muñoz, M., Reul, A. Figueroa F. L. (2022). Analyzing environmental factors that favor the growth of the invasive brown macroalga *Rugulopteryx okamurae* (Ochrophyta): The probable role of the nutrient excess. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113315.
- Navarro-Mayoral, S., Tuya, F., Prado, P., Marco-Méndez, C., Fernández-González, V., Fernández-Torquemada, Y., Espino, F., de la Ossa, J. A., Mateu Vilella, D., Machado, M. Martínez-Crego, B. (2023). Drivers of variation in seagrass-associated amphipods across biogeographical areas, *Marine Environmental Research*, 186,105918.
- Odum, E.P. (1969) The Strategy of Ecosystem Development. *Science*, 164, 262-270.
- Orav-Kotta, H., Kotta, J. (2004). Food and habitat choice of the isopod *Idotea baltica* in the northeastern Baltic Sea. *Hydrobiologia*, 514, 79e85.
- Pacheco, A.S., Laudien, J., Thiel, M., Oliva, M., Heilmayer, O. (2011). Succession and seasonal onset of colonization in subtidal hard-bottom communities off northern Chile. *Marine Ecology*, 32, 75–87.
- Rajendran, R., Sethu, R., Bilal, A. P., Albeshr, M. F. (2021). Impacts of cultivation of red algae *Kappaphycus alvarezii* on planktonic and benthic faunal density in relation to environmental and hydrobiological parameters in tropical coastal ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 41, 1, 39-49.
- Rigby, R.A., Stasinopoulos, M.D., Heller, G.Z., Bastiani, F. (2019). Distributions for modeling location, scale, and shape: Using GAMLSS in R, CRC Press.
- Sokal, R.R., Rohlf, F. J. (1981). *Biometry*. 2^{da} Edición. [Ed. W.H Freeman]. New York, USA.
- Stadtländer, C.T.KH., Bellinger, E. G., Sigeo D. C. (2010). Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators . *Journal of Applied Phycology*, 25, 1265–1266.
- Veiga, P., Rubal, M., Sousa-Pinto, I. (2014). Structural complexity of macroalgae influences epifaunal assemblages associated with native and invasive species. *Marine Environmental Research*, 101,115-123.
- Warfe, D. M., Barmuta, L.A., (2006). Habitat structural complexity mediates food web dynamics in a freshwater macrophyte community. *Oecologia*, 150, 141e15 4 .
- 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.

MATERIAL SUPLEMENTARIO

Tabla II. Fauna asociada a *Kappaphycus alvarezii* en la zona exterior. a, total de organismos colectados, su biomasa y densidad general. b, densidad de cada grupo de organismos en función a los gramos de algas colectados. IA= índice de asimetría

Sitio de zona Externa A	Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		
Días de colecta en el sitio	10	20	30	10	20	10	30	10	20
TAXAS									
Anfípodos	22	45	36	124	18	88	170	160	376
Camarones	18	13	0	5	0	15	1	0	0
Isópodos	2	6	0	8	0	1	0	2	3
Poliquetos	0	2	1	0	4	3	0	3	8
Decápodos	1	7	1	2	54	1	0	0	9
Otros	5	0	0	2	33	0	1	0	0
TOTAL	48	73	38	141	109	108	172	165	396
BIOMASA (g).	4002	7170	10550	3729	6115	4280	3980	3070	5570
Densidad Total	0,0119403	0,0101813	0,0036019	0,0378117	0,017825	0,0252336	0,0432161	0,537459	0,710952
IA	0,268	0,207	0,287	0,032	0,032	0,232	0,032	0,032	0,032
	0,58	0,512	0,858	0,764	0,414	0,712	0,901	0,88	0,856
Densidad de organismos por grupos /gramo de alga (Sitio de la zona exterior) B									
Anfípodos	0,00544726	0,0062762	0,0034123	0,332529	0,0029436	0,0205607	0,0427136	0,0521173	0,0675045
Camarones	0,0044776	0,0018131	0	0,0013408	0	0,0035047	0,0002513	0	0
Isópodos	0,0004975	0,0008368	0	0,0021453	0	0,002336	0	0,0006515	0,0005386
Poliquetos	0	0,0002789	0,000948	0	0,0006541	0,0007009	0	0,0009772	0,0014363
Decápodos	0,0002488	0,0009763	0,000948	0,0005363	0,0088307	0,002336	0	0	0,0016158
Otros	0,0012438	0	0	0,0005363	0,0053966	0	0,0002513	0	0
Sitio de zona Externa A	Febrero			Marzo	Abril	Mayo		Junio	
Días de colecta en el sitio	30	10	20	30	20	30	20	10	
TAXAS									
Anfípodos	68	318	72	192	96	276	172	204	
Camarones	0	0	0	0	0	0	0	0	

Isópodos	12	4	8	6	42	41	36	64	
Poliquetos	45	4	6	4	12	18	0	0	
Decápodos	3	20	18	6	30	9	2	1	
Otros	132	0	4	0	2	4	2	0	
TOTAL	8402	346	108	208	182	348	212	269	
BIOMASA (g).	8402	3580	4595	7780	9599	13405	11422	7455	
Densidad Total	0,0157105	0,096648	0,0235038	0,0267352	0,0189603	0,0259605	0,0185607	0,0360832	
I.A	0,032	0,032	0,032	0,032	0,423	0,032	0,032	0,032	
	0,474	0,826	0,562	0,0829	0,443	0,693	0,722	0,682	
Densidad de organismos por grupos /gramo de alga (Sitio de la zona exterior) B									
Anfipodos	0,080933	0,0888268	0,0156692	0,0246787	0,010001	0,0205893	0,0150587	0,0273642	
Camarones	0	0	0	0	0	0	0	0	
Isópodos	0,0014282	0,0011173	0,001741	0,0007712	0,0013755	0,0030588	0,0031518	0,0085848	
Poliquetos	0,0004761	0,0011173	0,0013058	0,0005141	0,0012501	0,0013428	0	0	
Decápodos	0,0053559	0,0055866	0,0039173	0,0007712	0,0031253	0,0006714	0,0001751	0,001341	
Otros	0,0003571	0	0,0008705	0	0,0002084	0,0002984	0,0001751	0	
Sitio de zona Externa A									
Días de colecta en el sitio	30	20	30	10	20	10			
TAXAS									
Anfipodos	334	160	180	380	140	36			
Camarones	0	0	0	0	0	0			
Isópodos	132	62	46	118	28	42			
Poliquetos	0	0	2	0	2	8			
Decápodos	0	1	10	36	32	74			
Otros	0	2	0	0	22	28			
TOTAL	466	25	238	534	224	188			
BIOMASA (g).	5723	225	16320	6068	8120	7295			
Densidad Total	0,0814258	0,0308473	0,0145833	0,0880026	0,0275862	0,0257711			
I.A	0,156	0,235	0,032	0,167	0,032	0,032			
	0,654	0,644	0,648	0,627	0,519	0,21			

Densidad de organismos por grupos /gramo de alga (Sitio de la zona exterior) B								
Anfipodos	0,058361	0,0219358	0,0110294	0,0626236	0,0172414	0,0049349		
Camarones	0	0	0	0	0	0		
Isópodos	0,0230648	0,0085001	0,0028186	0,0194463	0,0434483	0,0057574		
Poliquetos	0	0	0,0001225	0	0,0402463	0,0010966		
Decápodos	0	0,0001371	0,0006127	0,0059328	0,0439409	0,0101439		
Otros	0,0003571	0	0,0008705	0	0,0002084	0,0002984		
Sitio de zona Externa A								
	Agosto	Septiembre				Octubre		
Días de colecta en el sitio	20	20	30	10	20	20		
TAXAS								
Anfipodos	206	98	62	20	10	206		
Camarones	0	0	0	0	0	0		
Isópodos	124	10	88	18	2	124		
Poliquetos	11	2	14	36	2	11		
Decápodos	11	27	18	3	94	11		
Otros	36	0	41	23	202	36		
TOTAL	388	137	223	100	310	388		
BIOMASA (g).	8290	8510	17290	5430	8155	8290		
Densidad Total	0,0468034	0,0160987	0,0128976	0,0184162	0,0380135	0,0468034		
I.A	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032		
	0,477	0,624	0,47	0,032	0,593	0,477		
Densidad de organismos por grupos /gramo de alga (Sitio de la zona exterior) B								
Anfipodos	0,0248492	0,0115159	0,0035859	0,0036832	0,0012262	0,0248492		
Camarones	0	0	0	0	0	0		
Isópodos	0,0149578	0,0011751	0,0050896	0,0033149	0,0002452	0,0149578		
Poliquetos	0,0013269	0,000235	0,0008097	0,0066298	0,0002452	0,0013269		
Decápodos	0,0013269	0,031727	0,0010411	0,0005525	0,0115267	0,0013269		
Otros	0,0043426	0,0031727	0,0023713	0,0042357	0,0247701	0,0043426		

Tabla III. Fauna asociada a *Kappaphycus alvarezii* en la zona interior. c, total de organismos colectados, su biomasa y densidad general. d, densidad de cada grupo de organismos en función a los gramos de algas colectados. IA= índice de asimetría

Sitio de zona Interna C	Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		
Días de colecta en el sitio	10	20	30	10	20	10	30	10	20
TAXAS									
Anfípodos	8	51	62	41	60	157	67	430	78
Camarones	3	37	16	5	0	29	7	6	0
Isópodos	1	5	1	5	2	0	0	0	14
Poliquetos	0	2	2	0	0	0	1	0	1
Decápodos	1	20	0	1	17	0	0	1	0
Otros	1	1	0	1	29	0	2	0	0
TOTAL	14	116	81	53	108	186	77	437	93
BIOMASA (g).	5030	8950	14150	5812	10675	8100	10510	12630	3560
Densidad Total	0,0027833	0,0129609	0,0057244	0,0091191	0,0101171	0,034918	0,0073264	0,0346002	0,0261236
IA	0,47	0,41	0,678	0,771	0,489	0,368	0,774	0,396	0,956
Densidad de organismos por grupos /gramo de alga (Sitio de la zona interior) D									
Anfípodos									
Camarones	0,0015905	0,0056983	0,0043816	0,0070544	0,0056206	0,0257377	0,063749	0,0340459	0,021991
Isópodos	0,0005964	0,0041341	0,0011307	0,0008603	0	0,0047541	0,000666	0,0004751	0
Poliquetos	0,001988	0,0041341	0,000707	0,0008603	0,0001874	0	0	0	0,005847
Decápodos	0	0,0005587	0,0001413	0	0	0	0,0000951	0	0,0054887
Otros	0,0001988	0,0002235	0	0,0001721	0,0015925	0	0	0,0000792	0
Sitio de zona Interna C	Febrero			Marzo	Abri	Mayo		Junio	Febrero
Días de colecta en el sitio	30	10	20	30	20	30	20	10	30
TAXAS									
Anfípodos	396	50	182	112	72	170	122	146	396
Camarones	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isópodos	4	3	2	2	10	88	22	34	4
Poliquetos	3	6	0	82	5	18	0	3	3
Decápodos	1	30	34	2	5	46	32	16	1
Otros	0	0	1	3	0	2	2	13	0

TOTAL	404	89	219	200	92	324	178	212	404
BIOMASA (g).	8000	10440	5070	8930	12310	22665	9700	7605	8000
Densidad Total	0,0505	0,0085249	0,0431953	0,0223964	0,0074736	0,0142952	0,0183505	0,0278764	0,0505
I.A	0,391	0,528	0,74	0,562	0,689	0,454	0,592	0,596	0,391
Densidad de organismos por grupos /gramo de alga (Sitio de la zona interior) D									
Anfípodos									
Camarones	0,0495	0,0047893	0,358974	0,012542	0,0058489	0,0075006	0,0125773	0,0191979	0,0495
Isópodos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Poliquetos	0,0005	0,0002874	0,003945	0,000224	0,0008123	0,0038826	0,002268	0,0044707	0,0005
Decápodos	0,000375	0,0005747	0	0,0002401	0,0004062	0,0007942	0	0,003945	0,000375
Otros	0,000125	0,0028736	0,0067061	0,0091825	0,0004062	0,0020296	0,003299	0,0021039	0,000125
Sitio de zona Interna C									
Días de colecta en el sitio	30	20	30	10	20	10	30	20	30
TAXAS									
Anfípodos	310	432	406	234	240	80	310	432	406
Camarones	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Isópodos	104	20	44	24	38	6	104	20	44
Poliquetos	0	4	2	0	34	2	0	4	2
Decápodos	0	2	4	3	17	21	0	2	4
Otros	3	2	0	2	9	14	3	2	0
TOTAL	417	460	456	263	338	123	417	460	456
BIOMASA (g).	5295	9197	10415	5437	10625	8045	5295	9197	10415
Densidad Total	0,07877535	0,0500163	0,043783	0,04663723	0,0318118	0,015289	0,07877535	0,0500163	0,043783
I.A	0,667	0,878	0,761	0,796	0,592	0,549	0,667	0,878	0,761
Densidad de organismos por grupos /gramo de alga (Sitio de la zona interior) D									
Anfípodos									
Camarones	0,0585458	0,0469718	0,389822	0,0430384	0,0225882	0,0099441	0,0585458	0,0469718	0,389822
Isópodos	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Poliquetos	0,0196412	0,0021746	0,0042247	0,0044142	0,0035765	0,0007458	0,0196412	0,0021746	0,0042247
Decápodos	0	0,0004349	0,000192	0	0,0032	0,0002486	0	0,0004349	0,000192
Otros	0	0,0002175	0,0003841	0,0005518	0,0016	0,0026103	0	0,0002175	0,0003841
Sitio de zona Interna C									
Días de colecta en el sitio	20	20	30	10	20				
TAXAS									
Anfípodos	300	140	66	10	64				
Camarones	0	0	0	0	0				
Isópodos	45	12	68	31	5				
Poliquetos	8	1	60	10	5				
Decápodos	3	11	10	4	108				
Otros	34	8	40	15	27				
TOTAL	390	172	244	70	209				
BIOMASA (g).	6030	9210	10370	6890	7725				
Densidad Total	0,0646766	0,0186754	0,0235294	0,0101597	0,027055				
I.A	0,668	0,712	0,271	0,345	0,461				
Densidad de organismos por grupos /gramo de alga (Sitio de la zona interior) D									
Anfípodos									
Camarones	0,0497512	0,0152009	0,0063645	0,0014514	0,0082848				
Isópodos	0	0	0	0	0				
Poliquetos	0,0074627	0,0013029	0,0065574	0,0044993	0,0006472				
Decápodos	0,0013267	0,0001086	0,0057859	0,0014514	0,0006472				
Otros	0,0004975	0,0011944	0,0009643	0,005808	0,0139806				

POTENCIAL DE DEPREDACIÓN SOBRE CARRAGENÓFITAS COMERCIALES DEL GÉNERO *Kappaphycus* DOTY (RHODOPHYTA: GIGARTINALES) E INFLUENCIA DE ALGUNOS FACTORES FITOTÉCNICOS EN SU CULTIVO

  10.56238/livrosindi202431-003

Alejandro Serpa-Madrigal

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

Arsenio José Areces

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

Rubén Cabrera

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

Mercedes Cano Mallo

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

Georgina Bustamante

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

RESUMEN

Se analiza, además de la intensidad de depredación soportada por *Kappaphycus alvarezii* y *K. striatus*, la incidencia de tres factores fitotécnicos en el cultivo del género en aguas de la plataforma insular cubana: la distancia al sustrato, la naturaleza del fondo y el tipo de sostén (monolíneas vs cestas). Los dos experimentos realizados para determinar la tasa comparativa de depredación de ambas especies evidenciaron que *K. striatus* fue la especie más consumida por los peces y en *K. alvarezii* ninguna cepa resultó significativamente diferente en cuanto a afectación por los mismos. Se corroboró asimismo la importancia que revisten los factores fitotécnicos en la sustentabilidad del cultivo. Cuando el cultivo se llevó a cabo a 1.2 m del sustrato se observó la mayor tasa de crecimiento, aunque el efecto negativo de los fitófagos ícticos aumenta con la cercanía al fondo. También el grado de complejidad física del sustrato incide de manera directa en el herbivorismo e influye significativamente en la evolución del cultivo. Fue comprobado que el cultivo en monolíneas, a pesar de su exposición a los herbívoros, presenta ventajas sobre las cestas.

SUMMARY

In addition to the intensity of predation endured by *Kappaphycus alvarezii* and *K. striatus*, the incidence of three phytotechnical factors in the cultivation of the genus in waters of the Cuban island platform is analyzed: the distance to the substrate, the nature of the bottom and the type of support (monolines vs baskets). The two experiments carried out to determine the comparative rate of predation of both species showed that *K. striatus* was the species most consumed by fish and in *K. alvarezii* no strain was significantly different in terms of its impact. The importance of phytotechnical factors in the sustainability of the crop was also confirmed. When the culture was carried out at 1.2 m from the substrate, the highest growth rate was observed, although the negative effect of fish phytophages increases with proximity to the bottom. Also the degree of physical complexity of the substrate directly affects herbivory and significantly influences the evolution of the crop. It was proven that monoline cultivation, despite its exposure to herbivores, has advantages over baskets.

Palabras clave: Crecimiento, Experimentación, Ramoneo, Tasa de consumo.

1 INTRODUCCIÓN

A causa de la fauna abundante y diversa de fitófagos en los arrecifes coralinos (Hiatt & Strasburg, 1960; Randall, 1967) y la especial importancia que estos revisten en el control de la cobertura y la distribución espacial de los vegetales marinos (Hatcher & Larkum, 1983; Carpenter, 1986), los factores fitotécnicos adquieren especial relevancia en el maricultivo de algas tropicales como reguladores de la actividad de erizos y peces.

La ubicación del área de siembra, la distancia al sustrato del medio de sostén, su tipo y el periodo de propagación rigen el carácter e intensidad del herbivorismo y determinan por ende el rendimiento potencial del cultivo (Cabrera *et al.*, 2022). Dada la relación existente entre el ritmo de pastoreo y la complejidad física de la zona (Hay, 1981b), un manejo adecuado de los dos primeros factores podría constituir un mecanismo efectivo para regular la actividad de erizos y peces fitófagos sobre el cultivo. Los últimos en particular son más difíciles de controlar ya que pueden desplazarse en tres dimensiones y no basta, a diferencia de lo que pudiera ocurrir con los erizos, con desplegar fuera del contacto con el sustrato las estructuras de sujeción de la biomasa. Si agregamos a esto que los peces constituyen en arrecifes moderadamente explotados los macrofitófagos más importantes (Randall, 1961), se deduce lo difícil que puede resultar controlar el herbivorismo íctico.

Todo vegetal incorporado a un entorno ecológico diferente al de su zona de origen se verá sometido a presiones diferentes en cuanto a competidores por el sustrato y los nutrientes y controladores o reguladores de su biomasa. La resiliencia que manifieste el vegetal dependerá por tanto de factores fisioecológicos propios como el grado de euritopismo que tenga, así como de otros factores ambientales, asociados en este caso a cuán estructurado y maduro este el ecosistema adonde se ha introducido (Gunderson, 2000)

De ahí que se haya considerado determinar en primera instancia cuál de las dos especies introducidas soporta mejor una presión elevada de herbivorismo y cómo operan algunos factores fitotécnicos sobre la productividad del cultivo. De esta manera se abogó por el mejoramiento de la metodología tradicional del cultivo de las dos especies más importantes desde un punto de vista comercial del género *Kappaphycus* Doty, adaptándola a las condiciones existentes en las aguas del Caribe en lo concerniente a su temperatura, grado de transparencia, concentración de nutrientes, así como a la cobertura biótica previsible en los sitios de propagación seleccionados.

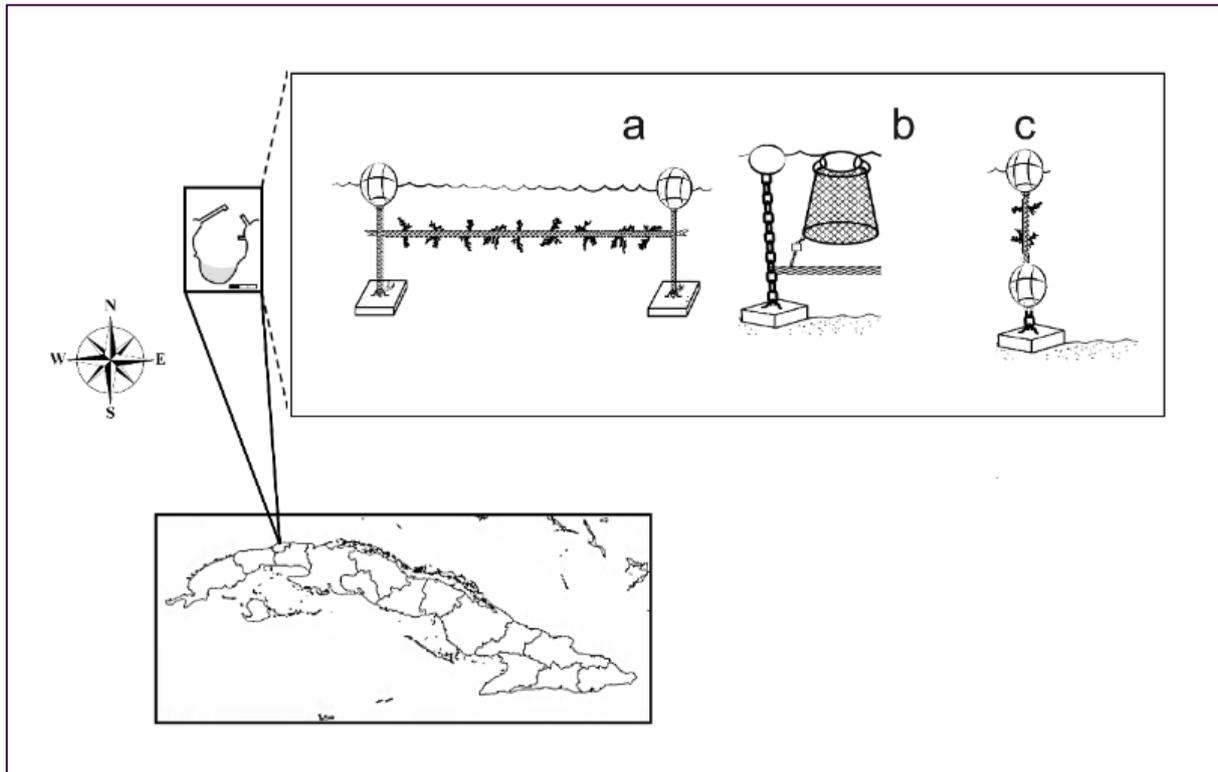
2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ZONA DE ESTUDIO Y METODOLOGIA GENERAL

Los experimentos fueron realizados en la rada del Instituto de Oceanología, un área semicerrada y protegida por un malecón artificial y en las inmediaciones exteriores, aproximadamente

a 1 km al oeste del río Quibú, ambos sitios situados en el sector oeste del litoral de la ciudad de La Habana. (Figura 1). Las características hidrológicas, geográficas y los hábitats existentes en la zona fueron descritos por Lluís-Riera (1974) y Herrera *et al.*, (1981) respectivamente.

Figura 1. Área experimental y estructuras de sujeción empleadas. a, cuerdas suspendidas. b, cestas suspendidas. c, cuerdas horizontales.



Fuente: Autoría propia.

En la rada se encontraba enclavada una pequeña granja de cultivo de las especies *Kappaphycus alvarezii* Doty Doty y *K. striatus* (Schmitz) Doty introducidas en 1991 desde Bolinao, Filipinas, de donde se extrajo la biomasa para los ensayos. Todos ellos se llevaron a cabo desde el nueve de enero hasta el 27 de febrero de 1992 y entre los meses de mayo y septiembre de 1993.

2.2 GENERALIDADES DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los ejemplares de *Kappaphycus alvarezii* se recolectaron al momento de ser utilizados y se seccionaron en pedazos de 100g. Cada experiencia tuvo 10 días de duración y a su término los ejemplares fueron nuevamente pesados. Los dos valores así obtenidos (P_i y P_f ; pesos inicial y final respectivamente) se utilizaron para calcular el incremento en peso diario según la fórmula expuesta por Hastings & Gutknecht (1976).

- $TCR = [\ln (P_f/P_i) / t] \times 100$, donde **TCR** es la tasa de Crecimiento Relativo y t el tiempo de cultivo.

Cuando fue detectada una disminución del peso de los ejemplares, se determinó la variación del peso mediante una modificación del método empleado por Hay (1981b) para el cálculo del ritmo de consumo diario, cuyo valor se expresó en porcentaje.

Las pesadas se ejecutaron en una balanza de 0.01 g de precisión. Para el contraste estadístico se utilizó la prueba U de Mann-Whitney (M-W) o en caso requerido la prueba de Kruskal-Wallis (K-W) (Siegel, 1970). Cuando las diferencias entre grupos resultaban significativas, estos se identificaron mediante la dócima de Newman-Keuls (N-K).

El contraste estadístico utilizado para establecer la preferencia de los herbívoros se realizó mediante un análisis de varianza de clasificación simple (ANDEVA, $\alpha=0.05$). Las diferencias entre grupo se identificaron utilizándose la prueba LSD contenida en el paquete estadístico STATGRAFICS versión 5.0.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 EFECTO DE LA FITOTECNICA DE CULTIVO SOBRE SU RENDIMIENTO

3.2 EFECTO DEL TIPO DE FONDO

Para conocer el efecto que tiene la complejidad estructural del sustrato sobre la tasa de crecimiento de los ejemplares en cultivo y determinar el tipo de sustrato adecuado sobre el cual deben colocarse las estructuras de cultivo para lograr una máxima productividad, se diseñó el siguiente experimento.

Se situaron 20 ejemplares a intervalos de 0,3 m sobre cuerdas de cinco metros de longitud suspendidas a 0,5 m del fondo (**Figura 1 a**). El experimento se repitió en dos ocasiones sobre tres diferentes tipos de fondo: arena, roca y arena y roca. Se determinó la complejidad estructural del sustrato para cada tipo de fondo y la tasa de crecimiento de los ejemplares cultivados sobre cada uno de ellos.

La complejidad estructural del sustrato dentro de cada zona fue estimada mediante el método de Risk (1972) y Luckhurst & Luckhurst (1978), modificado por Lewis (1985). En este método se relaciona la distancia lineal entre dos puntos (X_a) con la distancia entre estos a través del contorno del sustrato (X_s). A partir de estos valores se calcula un coeficiente de complejidad estructural (CE) mediante la expresión: $CE=1-X_a/X_s$. Para ello se escogió un punto al azar y sobre una distancia de dos metros (X_a), se determinó la distancia sobre el contorno del sustrato (X_s) en cuatro direcciones formando una cruz imaginaria. El promedio de estos cuatro valores fue utilizado para el cálculo del CE medio de cada zona. Los valores pueden oscilar entre 0 (para sustratos planos) hasta 1 (sustratos de máxima complejidad).

Aunque las zonas con buen desarrollo de comunidades algales son potencialmente sitios ideales para el cultivo (Trono, 1981), este factor no fue considerado en el diseño experimental, ya que solo se pretendía conocer la influencia de la complejidad estructural del sustrato sobre el ritmo de crecimiento de los ejemplares cultivados.

3.3 COMPARACION ENTRE MONOLINEAS Y CESTAS SUSPENDIDAS

La comparación de las tasas de crecimiento empleándose monolíneas y cestas suspendidas se llevó a cabo simultáneamente, bajo condiciones de herbivorismo moderado. Según la metodología tradicional de siembra, 20 ejemplares fueron distribuidos sobre cuerdas horizontales de cinco metros de largo útil, a intervalos de 0,3 m aproximadamente y a 0,5 m de la superficie, cuales se situaron en una columna de agua de dos metros, sobre fondo de rocas con arena y sujetas a dos cabos convenientemente anclados, con boyas en sus extremos (**Figura 1 a**). Otros 20 ejemplares se colocaron en la misma zona sobre monolíneas, pero en el interior de cestas con el fin de comparar sus tasas de crecimiento con la de aquellos fijas a monolíneas expuestas (**Figura 1 b**). Las características de las cestas fueron descritas en Areces & Céspedes (1992).

3.4 EFECTO DE LA DISTANCIA AL SUSTRATO

Para establecer el efecto que ocasiona la distancia al sustrato sobre la tasa de crecimiento de los ejemplares en cultivo y determinar donde es mínimo el daño por pastoreo y máxima la productividad, se diseñó el siguiente experimento: sobre tres cuerdas verticales utilizadas como replicas, situadas sobre arena con rocas, en una columna de agua de dos metros, se fijaron cuatro ejemplares a 0,2, 0,7, 1,2 y 1,7 del fondo (**Figura 1 c**). Las cuerdas con boyas en sus extremos se anclaron convenientemente. De este modo, el ejemplar más cercano a la superficie se encontraba a 0,2 m de la misma (**Figura 1 c**). El experimento fue repetido dos veces.

3.5 PREFERENCIA DE LOS HERBIVOROS POR *Kappaphycus striatus* Y DIFERENTES VARIEDADES DE *K. alvarezii*

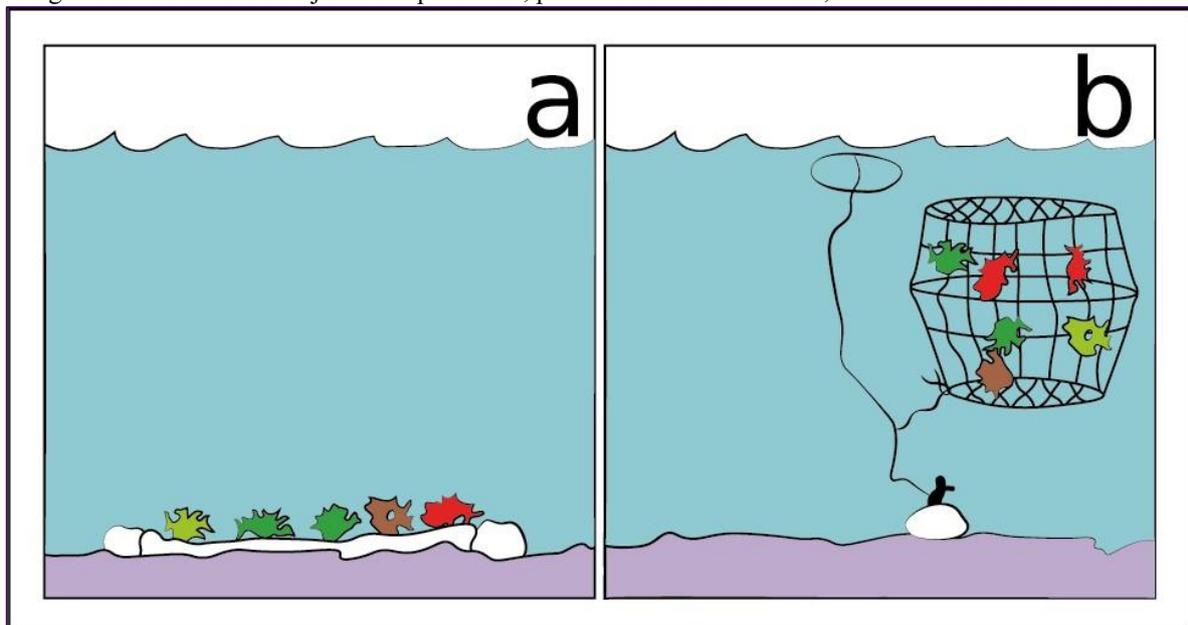
Para realizar esta experiencia fue seleccionado como hábitat la roca sin vegetación situada detrás de la barrea arrecifal, a causa de la elevada presión por herbivorismo reportada para esa zona por diferentes autores (Randall, 1965; Ogden *et al.*, 1973). El ritmo de consumo fue registrado mediante la propuesta metodológica de Hay (1981a). Con este fin se usaron las cepas verde, parda y verde-parda de *Kappaphycus alvarezii* y la especie *K. striatus*.

Los ejemplares fueron colectados en el momento de preparar los experimentos y seccionados en pedazos entre 20 y 25 g de peso. Con posterioridad se tomó el peso exacto de cada porción y se colocaron de forma alterna sobre una cuerda con una separación entre sí de 20 cm. Las cuerdas se colocaron sobre el fondo en el lugar seleccionado (**Figura 2 a**). Pasadas 24 horas fueron colectadas para chequear el peso de los ejemplares, calculándose y expresándose en % la variación de este.

3.6 HERBIVORISMO ÍCTICO CONTROLADO

La experiencia fue realizada en cestas de malla de 1 cm de luz abiertas y cerradas (**Figura 2 b**). Las cestas fueron situadas en la boca de la rada y en una zona interior de esta. Los ejemplares frescos se seccionaban ajustándose su peso a 40 g y con posterioridad colocándose dentro de cestas sujetos a una cuerda de manera tal que se alternasen las dos especies y sus variedades. La variación en peso fue determinada a los 10 días de iniciado el ensayo. Los ejemplares colocados en las cestas cerradas se utilizaron para establecer el peso perdido a causa del herbivorismo que tuvo lugar en las cestas abiertas.

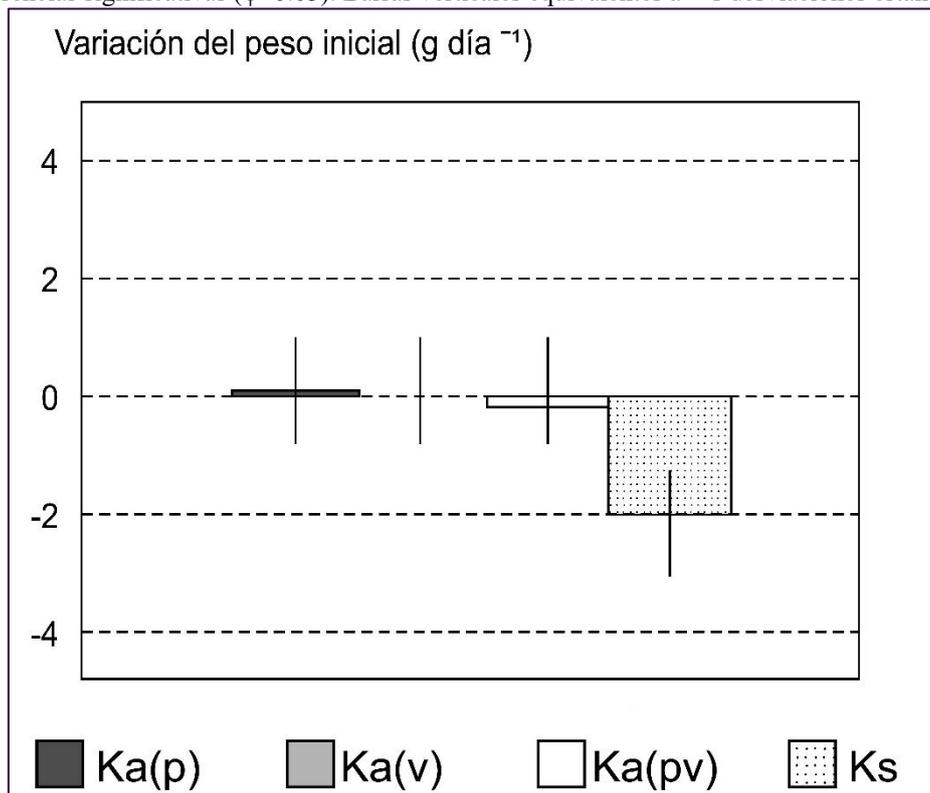
Figura 2. Estructuras de sujeción empleadas. a, presión de herbivorismo. b, herbivorismo íctico controlado.



Fuente: modificado de Serpa-Madrigal et al. (1997).

Al comparar entre si las dos especies y sus cepas se encontró que presentaban diferentes tasas de herbivorismo (ANOVA, $p= 0,05$; **Figura 3**). Las variedades o formas de la especie *K. alvarezii* fueron menos consumidas que *K. striatus*, no encontrándose diferencias significativas entre las tres variedades de la primera (LSD, $\alpha= 0,05$) cuando el cultivo se efectuaba en monolíneas adosadas al sustrato en una zona con fuerte presión de herbivoría.

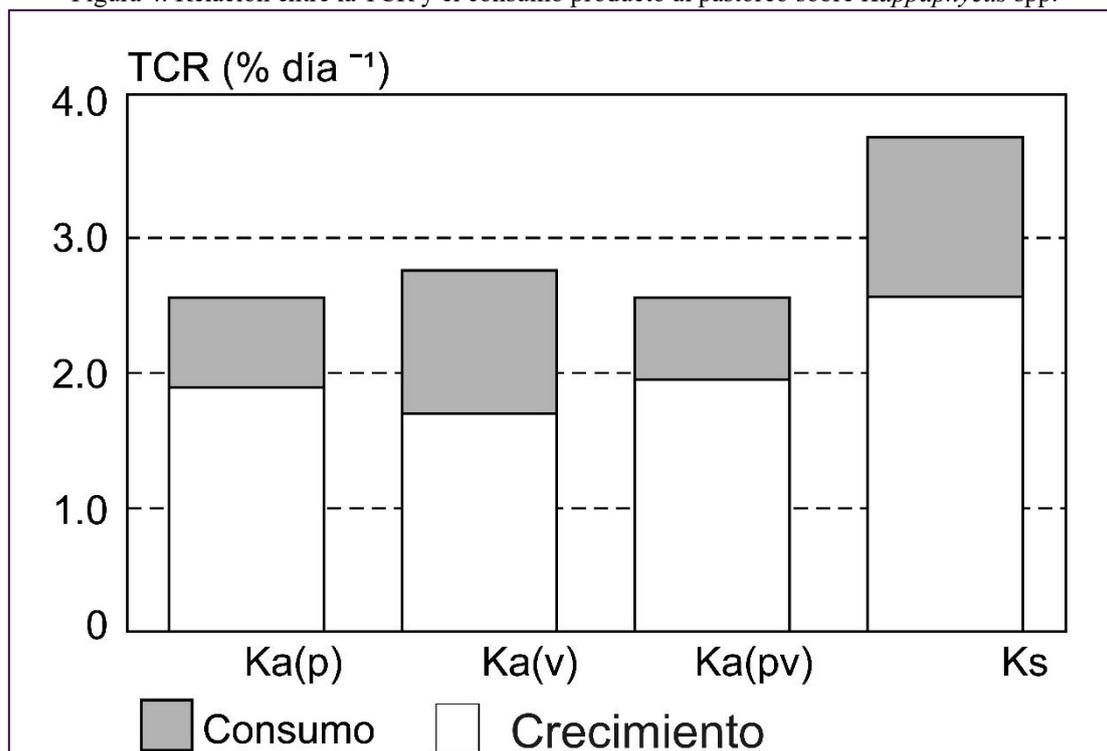
Figura 3. Variación media diaria del peso húmedo de *Kappaphycus* spp. producto al pastoreo, las barras horizontales representan diferencias significativas ($\alpha=0.05$). Barras verticales equivalentes a ± 1 desviaciones estándar).



Fuente: modificado de Serpa-Madrigal et al. (1997).

En los experimentos de herbivorismo íctico controlado mediante el uso de cestas no se encontraron diferencias entre locaciones, por lo cual los datos se unieron para su análisis. La especie *K. striatus*, la más sensible al pastoreo, presentó una mayor tasa de crecimiento cuando se encontraba protegida (**Figura 4**), hecho que sugiere que las mayores variaciones en la tasa de crecimiento relativo observadas en esta especie pudiesen ser, sino provocadas, al menos incrementada por el mayor herbivorismo que la misma experimenta, enmascarándose de este modo su verdadera tasa de crecimiento. En este ensayo con cestas solo los peces tenían acceso al material, a diferencia del otro ensayo donde los ejemplares crecían en monolíneas al descubierto sobre el fondo. No obstante, la baja densidad de erizos observados en la zona experimental permite suponer que los mayores responsables de las pérdidas de biomasa sufridas eran debidos a peces. Las dos especies de fitófagos ícticos predominantes en esta zona, *Acanthurus bahianus* y *A. chirurgus* forman agrupaciones y despliegan una conducta típica de pastoreo, constituyendo los principales consumidores de las algas.

Figura 4. Relación entre la TCR y el consumo producto al pastoreo sobre *Kappaphycus* spp.



Fuente: modificado de Serpa-Madrigal et al. (1997).

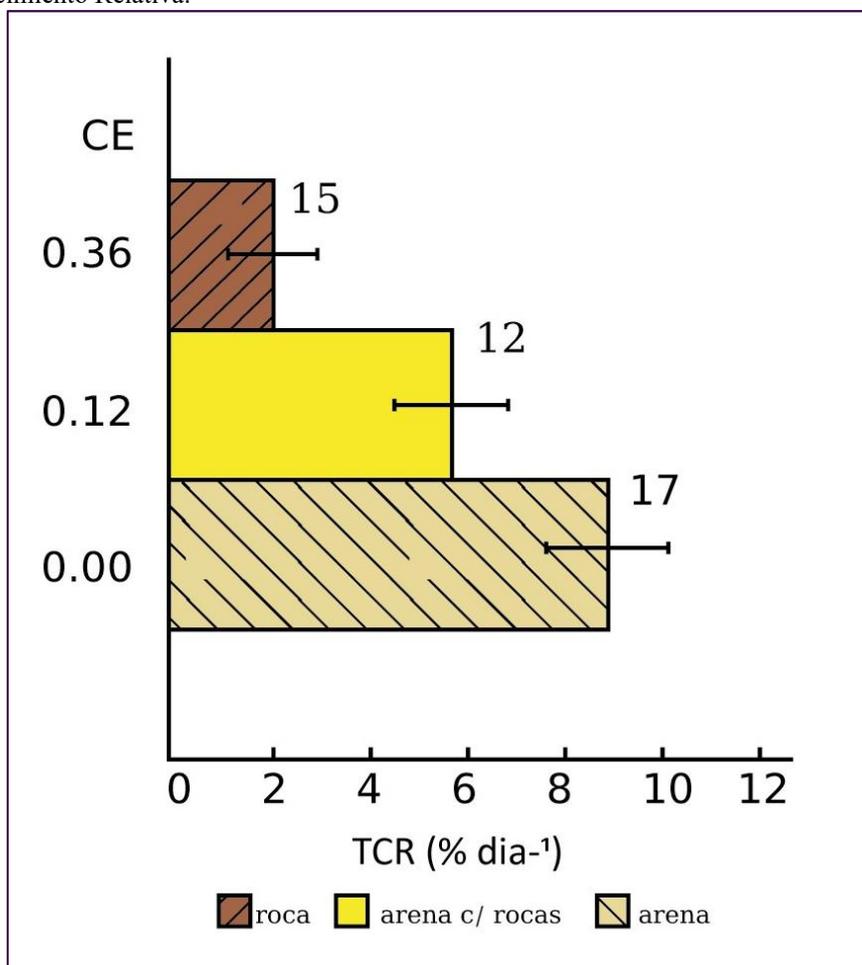
La mayor susceptibilidad de *K. striatus* a los herbívoros observada en ambos ensayos con relación a *K. alvarezii* puede ser debida a diferentes factores. Se conoce que hay especies que desarrollan mecanismos de defensa mediante la generación de compuestos químicos tóxicos o disuasivos de la depredación (Hay, 1981 a; Hay *et al.*, 1987; Hay *et al.*, 1988 a, b) y que los peces seleccionan sus presas muchas veces por su calidad nutricional (Littler *et al.*, 1983; Duffy & Hay, 1990; Steneck & Wathing, 1982, citado por Hay, 1991).

Aun cuando resulta difícil determinar por qué los herbívoros mostraron mayor preferencia por una de las dos especies, la conducta de pastoreo íctico sugiere que las mayores pérdidas observadas en *K. striatus* fueron debidas a las diferencias morfológicas que tienen ambas especies (Doty, 1988). La abundancia de ápices tiernos y pequeños en *K. striatus* parece constituir el detonante para este comportamiento diferenciado en las tasas de consumo.

El resultado observado tiene implicaciones en la optimización de la fitotecnia del cultivo de estas carragenófitas tropicales en las condiciones del Caribe insular. A pesar de ser más productiva, el uso como recurso de *K. striatus* requiere establecer con mayor precisión la relación costo-beneficio de la actividad por la erogación que implicaría el uso de mallas o redes de protección para restringir su depredación.

Entre los ritmos de crecimiento de los ejemplares cultivados sobre fondos de diferente complejidad estructural se detectaron diferencias (K-W, $p < 0,01$; **Figura 5**). Se encontró que el fondo de arena descubierta (con mínima complejidad estructural, CE=0) fue el de más condiciones para ubicar los módulos de cultivo, debido al mayor ritmo de crecimiento de los ejemplares (8.99 %; N-K, $\alpha = 0,05$). En consecuencia, es esencial considerar el tipo de fondo en el momento de instalar una granja de cultivo, ya que los daños que pueden provocar los peces herbívoros están relacionados con el grado de complejidad estructural del sustrato, o lo que es lo mismo con la disponibilidad de refugio (Brooke, 1979; Hay, 1981 b; Hay *et al.*, 1983; Duffy & Hay, 1990).

Figura 5. Efecto del tipo de fondo sobre el crecimiento de *Kappaphycus* en cultivo. Número de replicas junto a las barras. Las líneas horizontales son equivalentes a ± 2 desviaciones estándar. CE= Coeficiente de heterogeneidad de cada biotopo. TCR= Tasa de Crecimiento Relativa.



Fuente: Serpa-Madrigal & Areces (1998).

En algunos lugares desprovistos de vegetación donde los refugios son abundantes, el herbivorismo puede ser lo suficientemente intenso para limitar el desarrollo del cultivo (Areces, 1995). Así, los ejemplares que crecieron sobre el sustrato de máxima complejidad, constituido por rocas (CE= 0,36), experimentaron una disminución de su ritmo de crecimiento (la TCR solo alcanzó

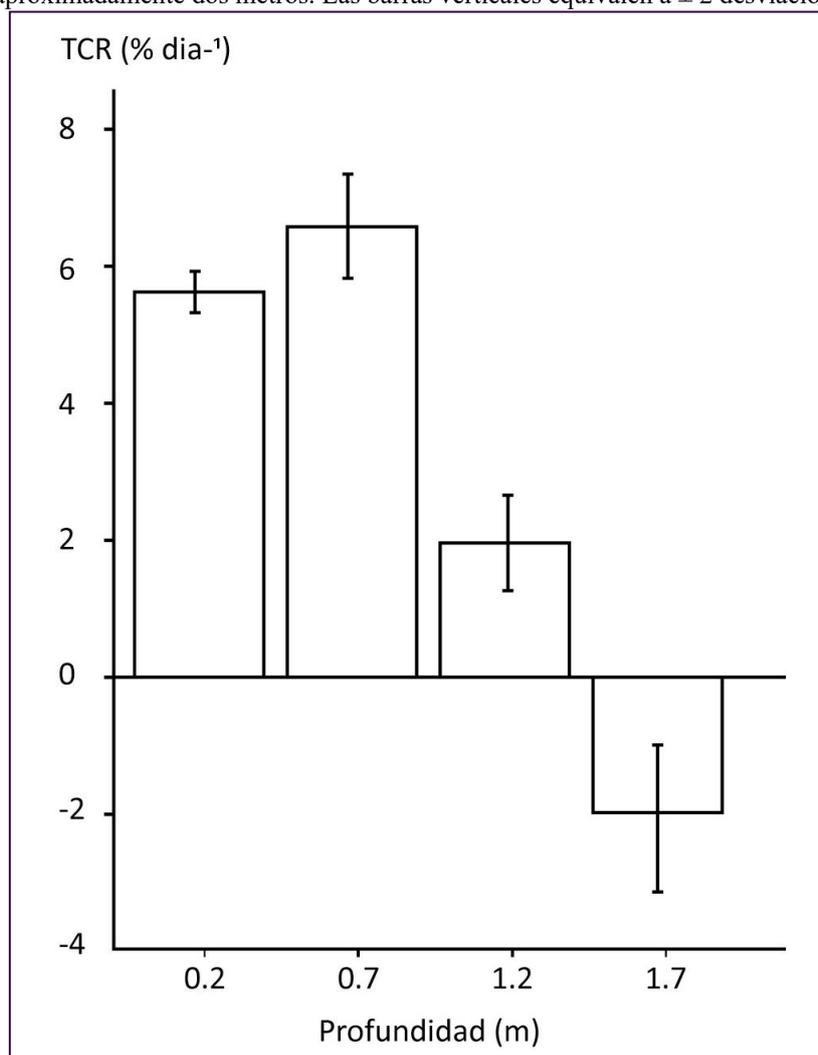
2,14 % diario), mientras que los ubicados sobre un sustrato de complejidad intermedia (CE= 0,12), compuesto por arena con rocas, incrementaron su peso a razón de un 5,86 % diario.

A pesar de que Mochek *et al.*, (1975) encontraron en esta misma área que tanto la diversidad de especies como la concentración de peces y su biomasa son significativamente menores en fondos de arena que en fondos de roca y que otros autores han detectado mayores ritmos de pastoreo en zonas estructuralmente complejas (Hay, 1981 b; Duffy & Hay, 1990; Lewis, 1985) planteó que la distribución espacial de los herbívoros no solo es explicada por la complejidad del sustrato. No obstante, la aseveración de este autor, los módulos de cultivo de la granja experimental del Instituto de Oceanología situados sobre fondos irregulares presentaron de forma general, un mayor efecto de los herbívoros, observándose una disminución de la biomasa y del ritmo de crecimiento en aquellos sitios sobre fondo rocoso, en contraste con los que se encontraban situados en fondos de arena o de *Thalassia testudinum*.

Aun tomando en cuenta las diferencias significativas encontradas en relación al tipo de fondo, en la selección de las zonas de ubicación de los módulos de cultivo también deben ser consideradas las características tróficas de la masa de agua y por ende sus propiedades ópticas. Una intensidad lumínica alta, debida en parte a la reflexión de la luz incidente sobre el fondo, puede acelerar en ambientes oligotróficos las manifestaciones carenciales ocasionadas por la limitación de nutrientes, comprometiendo a largo plazo la persistencia del cultivo.

Con respecto a la distancia al fondo, fueron asimismo encontradas diferencias significativas en las tasas de crecimiento (K-W, $p < 0,01$; **Figura 6**). La TCR medio más elevada se obtuvo a una distancia del fondo de 1,2 m (6,53 %; N-K, $\alpha = 0,05$). Los ejemplares más cercanos al sustrato fueron los más afectados por los herbívoros, lo cual se reflejó en una disminución de su tasa de crecimiento. Algunos, como ocurrió con los situados a solo 0,2 m del fondo, perdieron peso, demostrándose al ser examinados la presencia de huellas recientes de pastoreo.

Figura 6. Crecimiento (TCR) de *Kappaphycus alvarezii* a diferentes niveles de la superficie (n= 9 para cada nivel), en una columna de agua de aproximadamente dos metros. Las barras verticales equivalen a ± 2 desviaciones estándar).



Fuente: Serpa-Madrigal & Areces (1998).

Contrario a lo que cabría esperar, los ejemplares más alejados del fondo (subsuperficiales, a 0,2 m de la superficie) no presentaron la TCR más elevada (5,58 % diario), aun cuando no manifestaron signos evidentes de pastoreo. Sin embargo, su TCR medio no se diferenció significativamente de la de aquellos ejemplares ubicados a 0,7 m de la superficie debido al aumento relativo que tuvieron las variaciones de crecimiento en este nivel con respecto a la de los más cercanos a la superficie (**Figura 6**). El hecho pudiera ser demostrativo de que las condiciones de crecimiento son mejores por debajo de 0,2 m de profundidad, debido quizás a la exposición ocasional al aire de los ejemplares situados en la capa contigua a la superficie.

Aunque las zonas profundas dificultan la labor de cultivo (Trono, 1993), una distancia mayor al sustrato resulta beneficiosa cuando la densidad de los herbívoros es elevada, sobre todo en aquellos fondos estructuralmente complejos donde estos puedan disponer de refugio. Los métodos de flotación (líneas extendidas o balsas) son frecuentemente recomendados en zonas cuyos fondos son irregulares

o profundos ya que restringen el pastoreo (Trono, 1993). Es bien conocido que los peces herbívoros dependen del refugio y que no se aventuran más allá de distancias donde puedan estar expuestos a los depredadores (Randall, 1965; Hay, 1981 a).

A pesar de que los peces herbívoros de las familias *Acanthuridae* Forskäl y *Scaridae* Forskäl constituyen el componente mayor de las poblaciones de herbívoros en los arrecifes caribeños (Randall, 1965; Wanders, 1977; Hay *et al.*, 1983) solo los primeros han sido vistos pastoreando ejemplares de *Kappaphycus* (Serpa-Madrigal *et al.*, 1998). En estos fitófagos de típica conducta gregaria quizás la distancia al refugio no revista tanta importancia (Wolf, 1987) pero otros ramoneadores dependientes del refugio si pudieran limitar su actividad al quedar expuestos a los depredadores.

Aun cuando sus ritmos de crecimiento fueron altos y comparables a los reportados para zonas con cultivo comercial (Areces, 1995), los ejemplares cultivados en cestas presentaron siempre una tasa media de crecimiento diario significativamente menor que los cultivados en monolíneas (5,44 % vs 8,13 % diario; M-W, $\alpha= 0,05$). Dentro de las cestas, el intercambio se ve reducido por la aglomeración de los ejemplares, lo que afecta la incorporación de nutrientes y la difusión de sustancias tóxicas. Si consideramos que la velocidad de recambio para *Kappaphycus* debe ser tal que, en un día, el volumen inmediato al talo de la planta sea sustituido 500,000 veces (Doty, 1986), cabe estimar las consecuencias negativas sobre el crecimiento derivadas de la reducción del intercambio con el medio circundante. Dicho factor, unido al sombreado producido por la malla y su recubrimiento, así como por los ejemplares colocados en el interior de la cesta, limita en mayor grado el crecimiento en relación con el efecto del herbivorismo provocado por el uso de estructuras no protegidas como las monolíneas.

Ello sugiere que la protección de los cultivos mediante mallas o cestas resulta un método conveniente solo cuando el ritmo de consumo supera la tasa de crecimiento diario de los ejemplares en cultivo. Cuando el herbivorismo es moderado y se logran tasas de crecimiento aceptables, superiores al mínimo considerado para granjas comerciales (2,5 % diario; Doty, 1986), el uso de cestas es innecesario.

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran la importante relación que se establece con el sustrato y como este es capaz de incidir o incluso determinar el desarrollo del cultivo de manera directa e indirecta. Los herbívoros, en especial los peces, y la relación que manifiestan con el sustrato pueden convertir una zona aparentemente fértil en poco productiva impidiendo el cultivo. El daño producido por el pastoreo es un importante factor que afecta de manera significativa el desarrollo de los ejemplares propiciando alteraciones de su morfología y hasta su desaparición. En definitiva, sobre el ritmo de crecimiento de las plantas influyen factores tanto bióticos como abióticos y la TCR, que

refleja el efecto neto del ambiente, los contempla a ambos. De ahí que, en una zona donde los factores bióticos, y entre ellos el herbivorismo como elemento regulador no sea controlable, se torna inadecuada para el cultivo de *Kappaphycus*.

4 CONCLUSIONES

En fondos desprovistos de vegetación con fuerte presión de herbivoría todas las cepas de *K. alvarezii* resultaron menos afectadas por el pastoreo que *K. striatus*. Los mayores consumidores de algas en la zona de estudio fueron peces de la familia *Acanthuridae*, en particular *Acanthurus bahianus* y *A. chirurgus*, muy frecuentes también en aguas someras de la plataforma insular.

La tasa de crecimiento relativo de *Kappaphycus alvarezii* guardó una estrecha relación con la complejidad estructural del fondo. Los fondos estructuralmente simples resultaron los más adecuados para el cultivo de esta especie.

Para resguardar de la actividad depredadora ocasionada por peces a los ejemplares cultivados en fondos coralinos o con gran complejidad estructural, es conveniente una distancia al sustrato no inferior a 1,2 m.

Las monolíneas, bajo condiciones de moderado herbivorismo constituyen una fitotecnia de cultivo más productiva que las cestas.

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.
- 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.
- Brooke, R. E. (1979). An experimental study on the effects of grazing by parrotfishes and the role of refuge in benthic community structure. *Marine Biology*, 51, 301-388.
- Cabrera, R., Areces, A., Díaz-Larrea, J., Sahu, S., Cruz-Aviña, J., Núñez-García, L. G. (2022). Population Dynamics of Colonizing Fauna and Its Effect on Growth Rates of the Farmed Red Alga *Alsidium triquetrum* (S. G. Gmelin) Trevisan. *Natural Science*, 14, 42-55.
- Carpenter, R. C. (1986). Partitioning herbivory and its effects on coral reef algal communities. *Ecological Monographs*, 56, 345-363.
- Doty, M. S. (1986). The production and use of *Eucheuma*. [p. 123-164]. En: Case Studies of Seven Commercial Seaweed Resources. (Doty, M.S., Caddy, J.F. & Santelices, B. Eds.). FAO Fish Tech. Pap. 282.
- Doty, M. S. (1988). Podromus ad systematica Eucheumatoideorum: a tribe of commercial seaweeds related to *Eucheuma* (Solieriaceae, Gigartinales). [p. 159–207]. En: Taxonomy of economic seaweeds with reference to some Pacific and Caribbean species. (Abbott, I.A. Ed.) Vol.2. La Jolla: California Sea Grant College Program [Report T-CSGCP-018].
- Duffy, J. E., Hay, M. E. (1990) Seaweed adaptations to herbivory. *Bioscience*, 40, 368-375.
- Gunderson, L.H. (2000). Ecological resilience: in theory and application. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31, 425–439.
- Gunderson, L. H. (2000). Ecological Resilience In Theory and Application. *Annual Review Of Ecology, Evolution, and Systematics*. 31, 425-439.
- Hastings, D.F., Gutknecht, J. (1976). Ionic relations and the regulation of turgor pressure in the marine alga, *Valonia macrophysa*. *Journal of Membrane Biology*, 28, 263–275.
- Hatcher, B.G., Larkum, A.W.D. (1983). Controls on the primary production of the epilithic algal community at One Tree Island, Great Barrier Reef. *The Journal of Experimental Biology*, 69, 61–84.
- Hay, M. E. (1981 a). Herbivory, Algal Distribution, and the Maintenance of Between-Habitat Diversity on a Tropical Fringing Reef. *The American Naturalist*, 118 (4), 520-540.
- Hay, M. E. (1981b). Spatial patterns of grazing intensity on a caribbean barrier reef: Herbivory and algal distribution. *Aquatic Botany*, 11, 97-109.
- Hay, M. E., Colburn, T., Downing, D. (1983). Spatial and temporal patterns in herbivory on Caribbean fringing reef: The effects on plant distribution. *Oecologia*, 58, 299-308.

Hay, M. E., Renaud, P. E., Fenical, W. (1988 a). Large mobile versus small sedentary herbivores and their resistance to seaweed chemical defenses. *Oecologia*, 75, 246-252.

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

Hay, M.E., Duffy, J. E., Pfister. (1987). Chemical defense against different marine herbivores: are amphipods insect equivalents? *Ecology*, 68 (6), 1567-1580.

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

Herrera, A., Valdés-Muñoz, E., Ibarzábal, D. (1981). Evaluación poblacional del erizo negro, *Diadema antillarum* Philippi, mediante un diseño de muestra aleatoria estratificado, y algunos aspectos de su biología. *Ciencias Biológicas*, 6, 61-79.

Hiatt, R.W., Strasburg, D.W. (1960). Ecological relationships of the fish fauna on coral reefs of the Marshall Islands. *Ecological Monographs*, 30(1), 65-127.

Lewis, S. M. (1984). Herbivory on coral reefs: algal susceptibility to herbivorous fishes. *Oecologia*, 65, 370-375.

Luckhurst, B.E., Luckhurst, K. (1978). Analysis of the influence of substrate variables on coral reef fish communities. *Marine Biology*, 49, 317-323.

Lluis-Riera, M. (1974). Estudios hidrológicos sobre un área semicerrada y de las aguas adyacentes en la costa Norte de La Habana. *Serie Oceanológica*, 19, 1- 45.

Motchek, A. D., Radakod, D. V., Sbikin, Yu. N., Silva Lee, A. (1975). Distribución diurna de los peces en dos zonas de la plataforma cubana en relación con el tipo de fondo. *Serie oceanológica*, 29.

Ogden, J. C., Brown, R., Salesky, N. (1973). Grazing by the echinoid *Diadema antillarum* Philippi: formation of halos around west Indian patch reefs. *Science*, 182, 715- 717.

Randall, J. E. (1961). Overgrazing of algae by herbivorous marine fishes. *Ecology*, 42, 812.

Randall, J. E. (1965). Three new western Atlantic fishes of the blennioid genus *Chaenopsis*, with notes on the related *Lucayablennius zingaro*. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 117 (6), 213 -234.

Randall, J.E. (1967). Food habits of reef fishes of the West Indies. *Studies in Tropical Oceanography*, 5, 665-847.

Risk, M. J. (1972). Fish Diversity on a Coral Reef in the Virgin Islands. *Atoll Research Bulletin*, 153, 1-4.

Serpa-Madrigal, 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-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.

Trono, G. C. (1981). Field culture of *Gracilaria* and the others species. [p. 51-55]. En: South China Sea Fisheries Development and Coordinating Programme SCS/ GNE/81/29. (Trono, G. C., & Ganzon-Fortes, E. Eds.) Manila, Filipinne.

Trono, G. C. (1993). *Eucheuma* and *Kappaphycus*: Taxonomy and cultivation. [p. 75-88]. En: Seaweed Cultivation and Marine Ranching. (Ohno, M. & Critchley, A. T. Eds). Japan International Cooperation Agency (JICA), Yokosuka.

Wanders, J. B.W. (1977). The role of benthic algae in the shallow reef of Curacao III. The significance of grazing. Aquatic Botany, 3, 357-390.

Wolf, N. G. (1987). Schooling tendency and foraging benefit in the ocean surgeonfish. Behavioral Ecology Sociobiology, 21, 59-63.

PROTOCOLO IMPLEMENTADO PARA LA CUARENTENA CON VISTAS A INTRODUCIR CARRAGENÓFITAS DEL INDOPACÍFICO EN EL HEMISFERIO OCCIDENTAL

  10.56238/livrosindi202431-004

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

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

Palabras-clave: Introducción de especies, Riesgos, Medidas preventivas.

1 CONDICIONES PREVIAS

Se requerirá siempre autorización, de acuerdo a la normativa legal establecida en el país, por parte de los órganos nacionales competentes para efectuar la importación, una vez notificado este interés por la persona jurídica o natural. En cualquier circunstancia, el protocolo de solicitud deberá contemplar la procedencia del material, el tratamiento preliminar efectuado al material importado con vista a disminuir riesgos ecológicos, las medidas de control ambiental que se tendrán en cuenta, así como las características generales del sitio donde comenzará la propagación.

Las introducciones únicamente se efectuarán en el marco de acciones gubernamentales para el fomento y diversificación de la actividad pesquera en el país.

Cuando la introducción no constituya un hecho aislado para el beneficio económico de alguna comunidad pesquera específica, previamente se llevará a cabo por entidades autorizadas, un inventario de los lugares con potencialidad para el desarrollo de la actividad en consideración a condiciones naturales y socioeconómicas.

Una vez inventariadas las regiones y aquellas áreas específicas de las mismas que tengan potencialidad para el fomento de la actividad de cultivo, se seleccionarán únicamente aquellos sitios en los cuales un análisis de aptitud y conflictos reales y/o potenciales demuestren la inexistencia de usos como el turístico o el conservacionista, antagónicos con la maricultura extensiva.

2 DE LA INTRODUCCIÓN DE BIOMASA

La difusión de biomasa con fines de cultivo a otros sitios en la ecorregión o unidad biogeográfica se llevará a cabo, siempre que sea posible, a partir de material introducido con anterioridad en la misma y adaptado ya a sus condiciones ecológicas.

En caso de ser necesario el uso de una fuente foránea, la mejor opción constituye la introducción de porciones apicales (2-5 gm) que, para su propagación y control, se mantendrán en laboratorio bajo condiciones reguladas. De no existir esta facilidad logística, o ser requerida una propagación más rápida, solo se introducirán cantidades pequeñas de biomasa (5-20 Kg) con fines de multiplicación *in situ* después de un período adecuado de cuarentena. El uso de cantidades restringidas permite asegurar un tratamiento previo que disminuya al máximo la posible introducción de epibionta exótica, material portador de enfermedades o endofitismo ajeno al existente en el medio receptor.

La selección de biomasa se efectuará bajo cualquier alternativa, considerando material vigoroso, con coloración intensa y homogénea, sin evidencia de stress metabólico (*ice-ice*) y desprovisto de epifitismo.

Antes de su transportación desde el lugar de origen, el material se escardará, se limpiará y se lavará en agua de mar o agua dulce, en este caso por no más de 4 minutos para prevenir un desbalance osmótico que ocasione la necrosis de los ápices. La transportación debe efectuarse al aire, en contenedor que permita mantener una humedad relativa cercana al 100 % y a temperaturas no superiores a 30-31^o C. Bajo estas condiciones la biomasa puede conservarse por espacio de 6 a 8 horas sin pérdida de turgencia.

Después de llegar al lugar de destino, el material se rehidratará durante no menos de una hora con agua de mar filtrada a través de filtros de 1 micra de poro (1mm/1000), en recipientes apropiados y de ser posible con aireación. Una vez concluido este proceso, el agua empleada en la rehidratación se descartará sustituyéndose por solución de sulfato de cobre a concentración de 2 ppm (20 mg en 10 L) con el fin de eliminar los remanentes de epibiosis. El material será mantenido en la solución por espacio de tres minutos, se lavará nuevamente en agua de mar y se trasladará después a los tanques de cuarentena.

3 DEL MANTENIMIENTO EN CUARENTENA

Cuando por su cuantía la biomasa introducida requiera ser mantenida en tanques, la cuarentena o proceso de aislamiento del material introducido con el fin de evitar la propagación de algún tipo de contaminación biológica exógena, se llevará a cabo por espacio no inferior a 10 días. Las condiciones de conservación serán las siguientes:

El volumen de los tanques será el apropiado para mantener una proporción de un litro de agua de mar por gramo de biomasa. El movimiento del agua se asegurará mediante aireación y la salinidad no deberá ser inferior a 30 ups exceder 39 ups. La temperatura debe ser estable y no oscilará marcadamente, manteniéndose entre 25 a 30^o C. La iluminación será lo más intensa posible sin luz

solar directa. Se recomienda el empleo de agua costera filtrada ya que su uso permite evitar la fertilización de los estanques, evitándose con ello la proliferación de algas en los mismos.

El recambio del agua en los tanques debe efectuarse preferentemente todos los días y la limpieza de los mismos se llevará a cabo al menos dos veces por semana mediante fregado con escoba y en caso necesario uso de hipoclorito de sodio a concentración comercial, enjuagándose después con agua corriente. Para efectuar este procedimiento el material será extraído transitoriamente del tanque evitándose su desecación.

El material mantenido en cuarentena se inspeccionará diariamente de manera manual con el fin de detectar lesiones necróticas, blanqueamiento, evidencias de infestaciones fúngicas o bacterianas, epibiosis anormal por su composición o densidad y cambios morfológicos inusuales o inexplicables. Para ello la inspección será auxiliada mediante extracción de material y su análisis bajo lupa o microscopio.

Todo material que presente síntomas de infestación o cambios significativos, será extraído del tanque de cuarentena e incinerado. Si la infestación o estas alteraciones se observan hasta en el 25 % de la biomasa en cuarentena el material será rigurosamente seleccionado, iniciándose nuevamente todo el proceso de cuarentena. Por encima de ese valor el material será descartado e incinerado.

Se evitará la descarga directa al mar de los volúmenes de agua empleados en el proceso de cuarentena. Con este fin el agua será descargada en un sumidero ubicado por encima de niveles máximos de marea después de serle adicionada solución comercial de hipoclorito de sodio a concentración de 125 ml por m³ de agua, y esperarse no menos de 3 horas para que la solución ejerza su acción desinfectante.

Todo el equipamiento empleado en la manipulación y el control del material en cuarentena, deberá ser desinfectado con solución de hipoclorito de sodio de uso comercial una vez utilizado.

4 DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA EVALUACIÓN DE RIESGOS ECOLÓGICOS POR PROPAGACIÓN DESCONTROLADA DEL MATERIAL EN EL MEDIO NATURAL

El potencial dispersivo y la factibilidad de las carragenófitas del Indo-Pacífico en tornarse un factor de riesgo ecológico por competir por el sustrato con organismos focales por su papel en la trama alimentaria o por su acción ingeniera en las comunidades donde se efectuó la introducción, dependerá de la interrelación de cuatro factores: el hidrodinamismo imperante, la sistematización en la extracción de biomasa a causa de un régimen de explotación comercial, el herbivorismo y la tasa intrínseca de crecimiento debido a las condiciones tróficas del lugar.

Toda propagación *in situ* de carragenófitas exóticas requerirá, cuando la propagación es piloto o a pequeña escala (hasta 10 T p. s./año), un monitoreo ecológico continuo con una duración no inferior a 5 años, el cual se efectuará en un radio de hasta dos Km del área de cultivo, extendiéndose a no menos de cinco Km si el cultivo se proyecta o expande hasta escala comercial (> 100 T p. s./año).

El cultivo de carragenófitas a escala comercial reviste un impacto significativo sobre las comunidades bentónicas subyacentes por efectos de sombreado, cambios en la tasa de deposición del material suspendido en la columna y posibles alteraciones de la granulometría y la concentración de elementos biogénicos en los sedimentos de fondo. La selección de sitios de propagación debe contemplar esta realidad a partir de un análisis de dicha actividad atendiendo a su costo ecológico-beneficio económico en cada lugar seleccionado.

El monitoreo de la capacidad de dispersión geográfica en el nuevo sitio de propagación puede ser llevado a cabo por dos vías: determinando la existencia de cuerpos reproductores en el material propagado artificialmente, o mediante una cuantificación de la tasa de colonización del sustrato disponible según dos procedimientos alternativos: colocación de sustratos artificiales y/u observación directa de la fijación de propágulos o material desprendido en rocas, pavimentos u otros sustratos duros.

De no ser extraído mediante una explotación comercial en el sitio, la relación entre la tasa de consumo por herbívoros y la generación de biomasa a partir de estimados de crecimiento diario, permitirá calcular la biomasa remanente en el sistema y por ende determinar el potencial dispersivo del material introducido.

A pesar de que casi todas estas determinaciones son de sencilla obtención y muchas se basan en la aplicación de estadígrafos bien conocidos como el Coeficiente de Variación o medidas de tendencia central como la Media o la Mediana para contrastar datos de crecimiento registrados en condiciones expuestas y protegidas de la depredación, todas requieren ser calculadas a partir de un buen diseño experimental. Solo a través de esta premisa puede asegurarse una reproducibilidad y representatividad adecuadas. Por ellos se hace recomendable verificar mediante asesoramiento académico cualquier protocolo experimental utilizado en la evaluación de riesgos ecológicos derivados de la introducción de carragenófitas exóticas.

REALIZACIÓN:

SEVEN
publicações acadêmicas

¡ACCEDE A NUESTRO CATÁLOGO!



WWW.SEVENPUBLI.COM

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