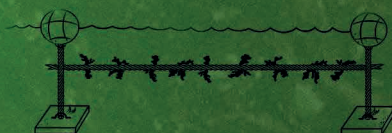
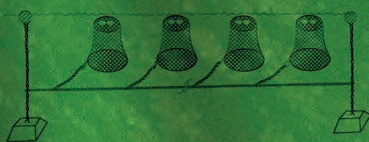
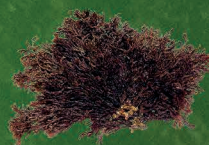
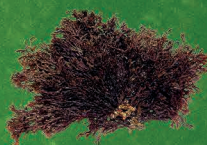
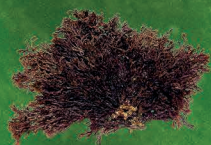


RUBEN CABRERA  
JHOANA DÍAZ-LARREA  
ANDRÉS SÁNCHEZ-MORALES  
MÓNICA CRISTINA RODRÍGUEZ PALACIO  
ROCÍO ZÁRATE-HERNÁNDEZ  
JUAN RICARDO CRUZ-AVIÑA  
ARSENIO J. ARECES

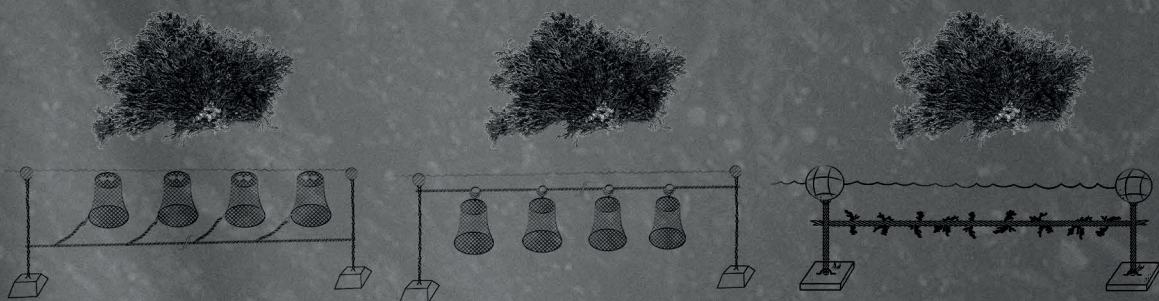
# FACTIBILIDAD DEL MARICULTIVO DE *Alsidium triquetrum* (Ceramiales, Rodomelaceae)





RUBEN CABRERA  
JHOANA DÍAZ-LARREA  
ANDRÉS SÁNCHEZ-MORALES  
MÓNICA CRISTINA RODRÍGUEZ PALACIO  
ROCÍO ZÁRATE-HERNÁNDEZ  
JUAN RICARDO CRUZ-AVIÑA  
ARSENIO J. ARECES

# FACTIBILIDAD DEL MARICULTIVO DE *Alsidium triquetrum* (Ceramiales, Rodomelaceae)



2025 por Atena Editora

Copyright© 2025 Atena Editora

Copyright del texto © 2025, el autor Copyright  
de la edición© 2025, Atena Editora

Los derechos de esta edición han sido cedidos a Atena Editora por el autor.

*Publicación de acceso abierto por Atena Editora*

**Editora jefe**

Prof. Dr. Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora ejecutiva**

Natalia Oliveira Scheffer

**Imágenes de la portada**

iStock

**Edición artística**

Yago Raphael Massuqueto Rocha



Todo el contenido de este libro está licenciado bajo la licencia  
Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

El contenido de esta obra, en cuanto a su forma, corrección y fiabilidad, es responsabilidad exclusiva de los autores. Las opiniones e ideas aquí expresadas no reflejan necesariamente la posición de Atena Editora, que actúa únicamente como mediadora en el proceso de publicación. Por lo tanto, la responsabilidad por la información presentada y las interpretaciones derivadas de su lectura recae íntegramente en los autores.

Atena Editora actúa con transparencia, ética y responsabilidad en todas las etapas del proceso editorial. Nuestro objetivo es garantizar la calidad de la producción y el respeto a la autoría, asegurando que cada obra se entregue al público con cuidado y profesionalidad.

Para cumplir con esta función, adoptamos prácticas editoriales que tienen como objetivo garantizar la integridad de las obras, previniendo irregularidades y conduciendo el proceso de manera justa y transparente. Nuestro compromiso va más allá de la publicación, buscamos apoyar la difusión del conocimiento, la literatura y la cultura en sus diversas expresiones, preservando siempre la autonomía intelectual de los autores y promoviendo el acceso a diferentes formas de pensamiento y creación.

# FACTIBILIDAD DEL MARICULTIVO DE *Alsidium triquetrum* (Ceramiales, Rodomelaceae)

## | Autores:

Ruben Cabrera

Andrés Sánchez-Morales

Rocío Zárate-Hernández

Arsenio J. Areces

Jhoana Díaz-Larrea

Mónica Cristina Rodríguez Palacio

Juan Ricardo Cruz-Aviña

## | Revisión:

El autor

## | Diseño:

Nataly Gayde

## | Portada:

Yago Raphael Massuqueto Rocha

### Datos de catalogación en publicación internacional (CIP)

F142 Factibilidad del maricultivo de *Alsidium triquetrum* (Ceramiales, Rodomelaceae) / Ruben Cabrera, Jhoana Díaz-Larrea, Andrés Sánchez-Morales, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.

#### Otros autores

Mónica Cristina Rodríguez Palacio

Rocío Zárate-Hernández

Juan Ricardo Cruz-Aviña

Arsenio J. Areces

Formato: PDF

Requisitos del sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acceso: World Wide Web

Incluye bibliografía

ISBN 978-65-258-3699-7

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.997250311>

1. Piscicultura, maricultura y cultivo de organismos acuáticos. I. Cabrera, Ruben. II. Díaz-Larrea, Jhoana. III. Sánchez-Morales, Andrés. IV. Título.

CDD 639.8

Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166

## Atena Editora

+55 (42) 3323-5493

+55 (42) 99955-2866

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



# CONSEJO EDITORIAL

## CONSEJO EDITORIAL

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dra. Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidad Federal de Lavras  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontificia Universidad Católica de Goiás  
Prof. Dra. Ariadna Faria Vieira – Universidad Estatal de Piauí  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidad Federal del Sur y Sudeste de Pará  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidad Federal de Goiás  
Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidad Federal de Ouro Preto  
Prof. Dr. Cláudio José de Souza – Universidad Federal Fluminense  
Prof. Dra. Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidad Federal de Piauí  
Prof. Dra. Dayane de Melo Barros – Universidad Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidad Tecnológica Federal de Paraná  
Prof. Dra. Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal de Río de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal de Pará  
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidad Federal de Rondônia  
Prof. Dra. Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidad Estatal de Maringá  
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidad Federal de Paraná  
Prof. Dr. Joachin de Melo Azevedo Sobrinho Neto – Universidad de Pernambuco  
Prof. Dr. João Paulo Roberti Junior – Universidad Federal de Santa Catarina  
Prof. Dra. Juliana Abonizio – Universidad Federal de Mato Grosso  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidad Federal Fluminense  
Prof. Dra. Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Paraná  
Prof. Dra. Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educación, Ciencia y Tecnología de Pará  
Prof. Dr. Sérgio Nunes de Jesus – Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología  
Prof. Dra. Talita de Santos Matos – Universidad Federal Rural de Río de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidad Federal Rural del Semiárido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidad Federal de Alfenas

# RESUMEN

## RESUMEN

La instrumentación de sistemas de acuicultura a gran escala en sus primeros intentos implica necesariamente experimentos seriales para optimizar la producción y evitar pérdidas de biomasa. También, la selección de las especies más productivas de las floras autóctonas es un desafío. *Alsidium triquetrum* ha sido tal vez una de las especies que mejor ha sido estudiada con fines productivos dentro de la plataforma cubana. Los conocimientos que se generaron para entender su biotecnología y aprovechamiento, constituyen las bases biológicas de su utilización. Los niveles de salinidad y una temperatura fluctuantes, fueron los factores abióticos más llamativos y que impidieron la consolidación de otros géneros mejor conocidos como *Gracilaria*. Se discuten los resultados de seis cultivos experimentales *in situ* con el agarófito *Alsidium triquetrum* realizados en tres sitios diferentes de aguas someras cubanas durante febrero a agosto. Esta especie, mostró una tasa máxima de crecimiento de 4.8 % día<sup>-1</sup>, con un valor promedio de 2-3 % día<sup>-1</sup>. Se demostró que el tiempo de cultivo tuvo una fuerte influencia en el proceso de crecimiento y que los valores máximos de la tasa de crecimiento se alcanzaron durante los primeros 20-30 días de maricultura. En sistemas de bolsa de red con 0.5 kg y 1.0 kg de biomasa inicial no se observaron diferencias en la tasa de crecimiento. El rendimiento se vio afectado por pérdidas de biomasa debido a corrientes y movimiento del agua, altos niveles de resuspensión de sedimentos y también la influencia de la obstrucción de la red por organismos sésiles. Aparentemente, la bolsa de red suspendida como sistema utilizado para el cultivo de *Alsidium triquetrum* no es una alternativa eficiente para su propagación precomercial debido a su baja retención de biomasa. Además, otro aspecto desalentador es el proceso de fabricación de las bolsas de malla implica diferentes tipos de materiales y un trabajo artesanal laborioso, lo que dificulta obtener una buena relación costo-beneficio.

**PALABRAS CLAVE:** *Alsidium*, Agar, Cestas Suspendidas, Ensayos de Cultivo.



# SUMÁRIO

## SUMÁRIO

### **INTRODUCCIÓN.....1**

Principales iniciativas del cultivo de agarófitas en Cuba antes de <i>Alsidium</i> ..2	
<i>Alsidium triquetrum</i> . Agarófito caso de estudio.....3	
Acerca de la factibilidad de cultivo de <i>Alsidium triquetrum</i> .....7	
Resultados.....9	
Algunos apuntes finales.....13	

### **METODOLOGÍA DE TRABAJO .....14**

A) Contraste de diverso sistema de sujeción y diferentes tamaños y densidades de siembra. ....14	
B) Variaciones estacionales del crecimiento en condiciones de cultivo. ....17	
C) Evaluación de crecimiento de <i>Alsidium triquetrum</i> en sectas suspendidas.....17	

### **CULTIVO EN LÍNEAS DE CESTAS SUSPENDIDAS.....20**

Características de las zonas de cultivo .....21	
Métodos de cultivo.....22	
Descripción de las experiencias realizadas.....23	
Crecimiento de tipos o partes distintos del material algal colectado (E-1) .....23	
Efecto de la biomasa inicial (E-2).....23	
Efecto de la profundidad (E-3).....23	
Efecto de la localidad (E-4).....23	
Efecto de la distancia de la costa (E-5).....23	
Efecto del tiempo de cultivo (E-6) .....24	
Estadísticos empleados en los experimentos .....24	
Resultados .....24	
Concentración de nutrientes.....24	

# SUMÁRIO

## SUMÁRIO

Crecimiento de los tipos de plantas.....	25
Efecto de la biomasa inicial.....	25
Efecto de la distancia a la costa .....	26
Efecto de la profundidad.....	27
Efecto del sitio experimental.....	28
Sistema de eficiencia.....	30
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
<b>CONSIDERACIONES FINALES .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>35</b>
<b>CUADROS .....</b>	<b>40</b>
<b>AUTORES.....</b>	<b>45</b>





# INTRODUCCIÓN

Todavía el principal peso económico de los vegetales marinos se asienta en la utilización de elementos y compuestos presentes en ellos. Empleados directamente como abono por su alto contenido de sales, y antaño, única fuente de elementos como el yodo, hoy en día, sin embargo, la obtención y venta de ficocoloides resulta una de las más importantes vías de ingresos asociados a la explotación de las algas. En 1980 el comercio mundial de algas y sus derivados ya ascendía a más de 350 millones de dólares de los cuales 297 millones correspondía solo al valor de producción de tres gomas vegetales (MANAM y SUMATH, 2024). De todos los ficocoloides extraídos de las algas rojas y pardas, el agar, -cuyo valor alcanzó el 39, 4% de la cifra anterior, - aunque los alginatos la carragenina y la furcellarina constituyeron los de mayor importancia práctica (RINAUDO, 2002).

El consumo de agar en la industria local asciende a 50 toneladas anuales (GARCÍA, 1985) y en el sector biomédico se proveen hasta 1995 necesidades no inferiores a 3, 8 toneladas anuales que, según el precio de mercado asciende a más de 100 mil dólares.

Apenas en el lustro, de 1980 a 1985, la producción anual proveniente del cultivo de organismos marinos se cuadruplicó, estimándose en la actualidad entre el 10 y el 11.5% del monto global extraído en el océano (FAO, 1985), dicha realidad no ha escapado de la maricultura y en y de los casi 6 millones de toneladas obtenidas mediante cultivo, cerca de 2,3 millones correspondieron a diversas especies de macroalgas marinas (FAO, 1985).

Considerada la mejor opción para satisfacer la creciente demanda en el mercado mundial de algunos de las gomas vegetales de origen marino más importante (MANAM y SUMATH, 2024), la misma experimentó, durante los últimos años no solo una rápida dispersión geográfica, sino que los programas de mejoramiento genético mediante la selección clonal, introducidos en la propagación agámica de las carragenófitas *Kappaphycus striatus* (DOTY y ÁLVAREZ, 1975) y *Chondrus crispus* (NEISH, 1976), y el conocimiento adquirido acerca de la esporulación y la obtención de fases perdurantes en la reproducción masiva de especies comestible de los géneros *Porphyra* y *Undaria*, reflejan asimismo, el progreso técnico alcanzado en la actualidad.

Sin embargo, el cultivo de agarófitas, sustentado todavía casi exclusivamente en la propagación vegetativa de algunas especies del género *Gracilaria* y sin un desarrollo análogo, a fines de la década del 70, sólo en Taiwán rebasaba una escala experimental (SHANG, 1976). Acorde con esta situación y aún a pesar de la existencia de inventarios, en algunos casos exhaustivos, sobre las agarófitas existentes Cuba, Puerto Rico (DÍAZ-PIFERRER y CABALLER DE PÉREZ, 1964) Venezuela (DÍAZ-PIFERRER, 1967) y las Bahamas (DEBOER, 1981), no es hasta las experiencias de propagación llevada a cabo por SMITH (1984, 1986) con *Gracilaria domingensis* y *G. debilis* en la isla de Santa Lucía, que se aborda por primera vez en las Antillas el cultivo *in situ* de rodofitas productoras de agar.

### Principales iniciativas del cultivo de agarófitas en Cuba antes de *Alsidium*

En Cuba las agarófitas han sido estudiadas por SOLONI (1954); DÍAZ-PIFERRER (1961); BAARDSETH (1968); SOSA (1965, 1966, 1979, 1983), ESTÉVEZ *et al.*, (1985), y ARECES (1989), quien define las bases biotecnológicas para el aprovechamiento del género *Alsidium*.

SOLONI (1954) analizó la composición química de *Alsidium triquetrum*, *Gracilaria ferox*, *Gracilaria confervoides*, *Gracilaria isabellana*, *Palisada perforata* y *Eucheumatopsis isiformis* comprobando las presencias de ellas de diversos ficocoloides.

DÍAZ-PIFERRER (1961) continuó la línea investigativa. A partir de del material proveniente de 60 estaciones de colecta alrededor de Cuba, este autor estimó 50 rodofíceas incluidas en seis órdenes diferentes, de los cuales ofreció algunos datos ecológicos, su rendimiento y las características de sus geles. De las 27 agarófitas registradas por él, señaló a *Alsidium triquetrum*, *Digenia simplex*, *Gelidiella acerosa*, *Hypnea musciformis* (productora de carragenano) y al complejo de las especies integrantes del género *Gracilaria* como las más prometedoras para su aprovechamiento industrial.

BAARDSETH (1968), por el contrario, apenas mostró optimismo en cuanto a la explotación de nuestros placeres de agarófitas. Basándose en datos de muestreo efectuados en 32 estaciones alrededor de Cuba y la isla de la Juventud, dicho investigador concluyó que a pesar de la abundancia de *Hypnea musciformis* y *Gracilaria domingensis* en varias localidades y de la aparición de algunos bancos de otras agarófitas, no existían en el país cantidades para justificar su utilización industrial.

SOSA (1966) tampoco encontró placeres de extensión apropiada, capaces de ser explotadas con regularidad, apuntó que ni siquiera en la se iba a dar arenoso o en el sublitoral rocoso somero (biotopos donde halla el mayor número de agarófitas),



las comunidades de algas bentónicas superiores alteraban su patrón habitual conformado por una gran cantidad de especies escasamente representadas. La autora confirmó asimismo a *H. musciforme*, *Digenia simplex* y *A. triquetrum* y diversas gracilarias como las agarófitas más comunes en las costas cubanas y sugirió la realización de experiencias de cultivo de las mismas (SOSA, 1983).

ESTÉVEZ *et al.*, (1985) evaluaron el rendimiento de ficocoloides y la composición glucosídica de varias fracciones de polisacáridos extraídos por vía acuosa de 14 rodofíceas, reafirmando la importancia de este recurso de algas en estas especies.

### ***Alsidium triquetrum*. Agarófito caso de estudio**

Aun cuando la información recopilada hasta los primeros años de la década del ochenta confirmaba la presencia de un buen número de agarófitas de potencial interés económico, casi ninguno de los mantos algales encontrados era de grandes dimensiones. Todo parecía indicar que pocas de estas poblaciones podrían soportar una siega periódica sin que se comprometiese su persistencia o estabilidad. Por ello, en estas circunstancias la exploración del recurso requería incrementar de alguna forma la biomasa algal disponible, o mejorar los rendimientos en su colecta; el maricultivo, única alternativa capaz de asegurar ambos requerimientos, se imponía como la mejor opción de manejo.

Asumida esta alternativa, era necesario buscar una agarófito apropiada. Para ello, se tuvieron en cuenta dos premisas; por una parte, en ninguna de las especies del género *Gracilaria* Greville, había sido encontrado agar de alto poder gelificante (ESTEVÉZ *et al* 1985; COTE y HANISAK, 1986; VALIENTE *et al.*, 1992). Por la otra, las zonas con salinidades comprendidas entre 15 y 36 ups adecuadas a los requerimientos de un género como este, asociado a ambientes estuarinos de baja salinidad (SANTELICE y DOTY, 1989), donde se reproducen rápida y significativamente, eran escasos en la plataforma insular cubana. El aumento progresivo de la salinidad en numerosas áreas interiores ha sido notorio en los últimos años (ALCOLADO, 1991). Este fenómeno, agudizado por la construcción de pedraplenes, provoca el represamiento de más de 9 600 millones de m<sup>3</sup>, que junto a las obras de captación de agua y a los pozos en explotación, permiten disponer del 55 % del volumen hídrico aprovechable del país.

Las dos premisas anteriores determinaron que el ecosistema arrecifal, con mayor constancia ambiental y riqueza específica fuera seleccionado como área para el desarrollo de la actividad. Por tanto, la especie utilizada debía ser alguna de las presentes en esta biocenosis y tener, además de un buen ritmo de crecimiento, una adecuada resistencia al herbivorismo.

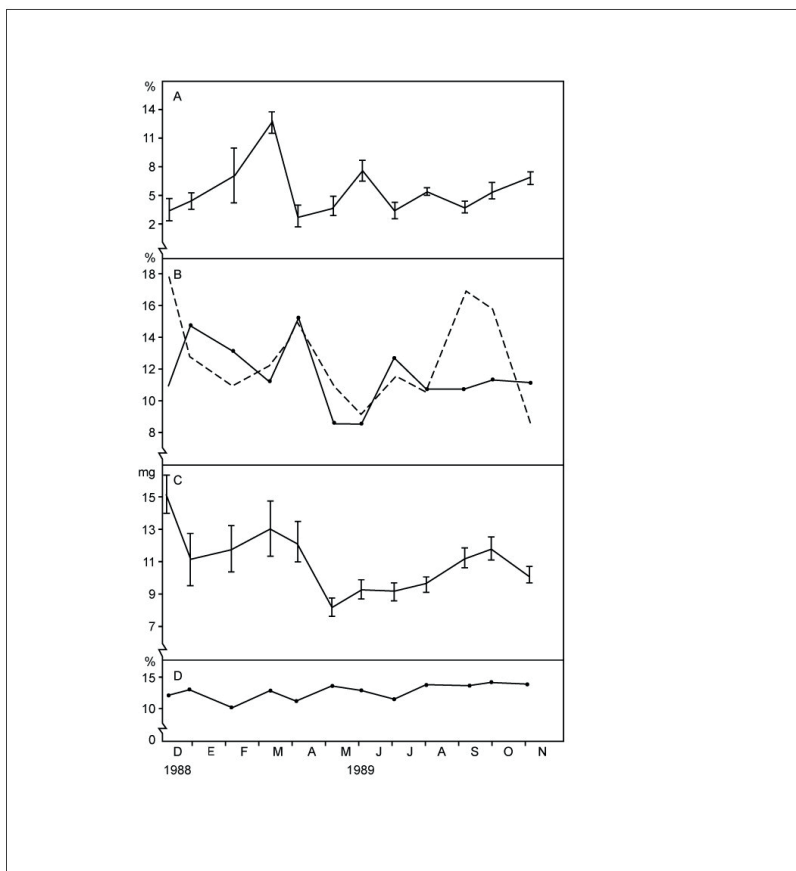
Teniendo en cuenta lo anterior en la plataforma insular cubana, es el género *Alsidium* C. Agardh el más apto para organizar a corto plazo una industria extractiva de agar con algas propias de la biocenosis arrecifal, y su propagación puede ser asegurada mediante maricultivo. De las dos especies del género registradas en la plataforma, *Alsidium triquetrum* resultó la más adecuada (ARECES *et al.*, 2020). *A. seaforthii* presentó en todos los ensayos de cultivo un menor rendimiento y su agar resultó de muy baja calidad (VALDÉS *et al.*, 1988).

*Alsidium triquetrum* es consumida activamente por peces herbívoros y puede ser un hábitat para epífitos, como los anfípodos, que a su vez pueden dañar la planta si alcanzan densidades altas (CABRERA *et al.*, 2022). La especie se distribuye en diferentes zonas del arrecife y está asociada con fondos rocosos o arenosos, sitios de donde obtiene los elementos necesarios para su crecimiento (CABRERA *et al.*, 2021, ARECES *et al.*, 2023). Las condiciones óptimas de desarrollo para *Alsidium triquetrum* se encuentran en el intervalo de temperatura de 29 y 32°C y salinidades de 27-35 ups. (ARECES y ARAUJO, 1996).

Los diferentes métodos de sujeción ensayados en *Alsidium* demostraron que, las cuerdas deshilachadas son las más adecuadas para el cultivo experimental (ARECES y SOBERATS, 1992), y aunque no se descarta la ciega de en los mantos naturales como método de abasto de biomasa, este proceder no es conveniente para el desarrollo de la industria del agar.

Los períodos más favorables para el procesamiento para la obtención del agar deben efectuarse desde marzo hasta agosto (ver **Figura 1**). En aquellos mantos naturales cuyo desarrollo vegetativo se mantiene durante todo el año, las podas se realizarán preferentemente en los primeros meses del verano, etapa en la cual se conjugan ritmos elevados de crecimiento con máximos en la concentración del ficocoloides.

**Figura 1.** Marcha estacional en *Alsidium triquetrum*. **A**, el agar; **B**, los carbohidratos totales (—) y las fibras insolubles (---); **C**, las proteínas y **D**, la materia seca. [Magnitudes referidas a los miligramos o % de peso seco. Cotas verticales correspondientes a  $\pm 1$  DE]. Los ejemplares para este análisis proceden del Rincón de Guanabo, (ver ARECES et al., 2020).



Fuente: ARECES et al., (2020)

***Alsidium triquetrum*** (S. G. Gmelin) Trevisan 1845: 30.

Basionimo: *Fucus triqueter* S. G. Gmelin.

*Bryothamnion triquetrum* (S. G. Gmelin) M. Howe.



Talos cartilaginoso erectos, relativamente grandes, de hasta 30 cm de altura, organizados radialmente. Su coloración es rojo intenso. Con ejes cilíndricos y ramas distales progresivamente más estrechas que tienen una disposición alternada en espiral en el talo angular. Un filamento axial conspicuo es evidente en secciones transversales y longitudinales del talo, donde se aprecian de 6-8 células pericentrales (Figura 2).

**Figura 2.** Aspecto general de *Alsidium triquetrum*. Escala = 1 cm.



Fuente: Fotografía R. CABRERA

**Comentarios:** GARCÍA-SOTO y LÓPEZ-BAUTISTA (2018), establecieron que el género *Bryothamnion* no se sustentaba con datos moleculares ni morfológicos, fusionándose por tanto con el género *Alsidium*. Mediante análisis filogenéticos de ADN plastidial y mitocondrial, el estudio resolvió un clado monofilético, lo que condujo a la reclasificación de dos especies de *Bryothamnion* en *Alsidium*.

La posición sistemática de *Alsidium* y *Bryothamnion* dentro de la familia Rhodomelaceae fue dilucidada anteriormente por DÍAZ-TAPIA *et al.* (2017), quienes proporcionaron una clasificación tribal actualizada de la familia basada en evidencia filogenómica molecular; incluyendo estos dos géneros y *Digenea* C. Agardh, los que fueron asignados a la tribu resucitada Alsidieae.

GARCÍA-SOTO y LÓPEZ-BAUTISTA (2018: 226), propusieron una nueva combinación, la que no fue aceptada pues ya ese binomio había sido usado por TREVISAN (1845: 30), y estos autores no revisaron al parecer, literatura antigua.

### **Acerca de la factibilidad de cultivo de *Alsidium triquetrum***

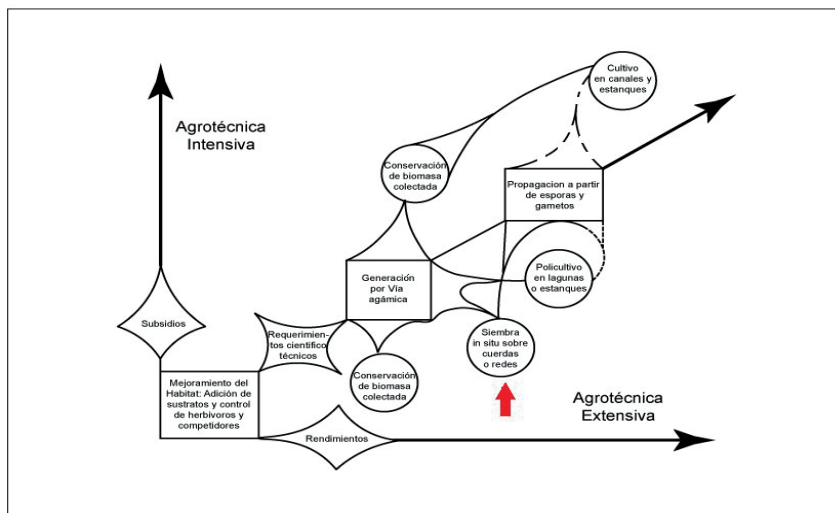
Si bien los resultados existentes revelaban la presencia de un buen número de macroalgas, en particular agarófitas, de potencial interés económico, imponían en el plano conceptual de su explotación soluciones dirigidas tanto a la preservación de la biomasa como al mejoramiento de los rendimientos de su colecta.

De allí que, a partir de los análisis de la factibilidad expuestos en el marco del grupo gestor Maricultivo creado por el Ministerio de Industria Pesquera, y la experiencia práctica adquirida durante 1985 y la primera mitad de 1986 (ARECES, 1984), fuera elaborado un tema investigativo sobre cultivo de agarófitas cuya ejecución se inicia de manera formal en junio de 1986. Concebido para ser abordado multidisciplinariamente por instituciones de variado perfil, al mismo se le trazó como objetivo: implementar la base informativa y técnica requerida para el aprovechamiento industrial de las algas productoras de agar mediante un suministro regular de biomasa cultivada.

Para ello se hacía necesario seleccionar las especies de mayor potencialidad agronómica, establecer la estrategia de cultivo óptimo y definir las mejores modalidades agrotécnicas. Dado el desconocimiento casi absoluto acerca de la ecofisiología y el ciclo de vida de las agarófitas que habrían de utilizarse, se imponía, además, estudiar en detalle la biología de aquellas escogidas.

De todo el conjunto de operaciones agronómicas que se podían abordadas (**Figura 3**) se eligió la siembra *in situ* sobre cuerdas o redes. Aun cuando su rendimiento potencial resultaba inferior con respecto a otras alternativas, sus exigencias atendiendo a experiencia, antecedentes informativos y base material necesaria, no retrasaban el escalado sucesivo de los experimentos. Amén de resultados de la utilidad práctica obtenidos sin necesidad de extrapolaciones rigurosas a partir de condiciones de laboratorio, esta modalidad agrotécnica posibilitaba contrastar el mismo al mismo tiempo la potencialidad productiva de las especies presentes en el archipiélago en condiciones naturales

**Figura 3.** A partir de la producción vegetativa y después mediante propagación de esporas y gametos, la maricultura evoluciona, desde un simple mejoramiento de las condiciones ambientales, hasta la propagación intensiva en espacios limitados (Los niveles comparativos de subsidios y rendimientos de cada variante se señalan de acuerdo a su ubicación relativa en el plano. Trazos discontinuos indican formas de propagación aún no implantadas).



**Fuente:** ARECES (1987).

La rodofíceas *Alsidium triquetrum* y *Gracilaria domingensis* habían sido seleccionadas con anterioridad en consideración a su amplia distribución, al hecho de constituir representantes de gran tamaño dentro de las agarófitas cubanas, a la naturaleza de sus ciclos vegetativos y a la importancia que como recurso les asignaron diversos autores.

Ya en el transcurso de las primeras experiencias pudo comprobarse que el consumo de *Gracilaria domingensis* por peces herbívoros u omnívoros resultaba muy superior al de *Alsidium triquetrum* bajo condiciones similares de cultivo. Ello, unido a la poca fortaleza del gel y la imposibilidad de incrementarla sustancialmente mediante el tratamiento alcalino (DUCKWORTH y YAPHE, 1971), determinó que la misma fuera por el momento descartada, concentrándose el estudio solo concentrándose en el estudio en *Alsidium triquetrum*.

Poca información obrada sobre la especie. De ella solo se conocían algunos elementos cerca de su distribución, el rendimiento en agar y la resistencia mecánica de los geles generados por soluciones al 1 y 2% (DÍAZ-PIFERRER, 1961). BAARDSETH (1968), cuantificó sus sólidos totales y BURKHOLDER *et al.*, (1971) aportaba

información sobre las constituyentes nutricionales de la planta. La situación anterior condicionó que el tema de investigación una vez aprobada su ejecución, se ciñera en su primera etapa al análisis de los aspectos laborados previamente: las variaciones del rendimiento del cultivo de *Alsidium triquetrum* bajo diversas variantes empleadas para la fijación de biomasa sembrada y la caracterización química y reológicas de su agar. De este modo resultaba posible concluir con suficiente rapidez cerca de la importancia real de la especie como recurso o bien derivar hacia la evaluación de otros agarófitas, obviando de esta circunstancia estudios básicos innecesarios. Los resultados expuestos a continuación complementan una recomendación sugerida al calor de la discusión del tema. La falta de tradición en el manejo a través del cultivo los vegetales marinos, no ya en el país, sino en todo el Atlántico Tropical y los criterios existentes acerca de la reducida fertilidad de nuestras aguas atentada contra el desarrollo de la actividad, tornando en cierto su futuro. Por ello, del cúmulo de datos recopilados solo se discutirán aquellos, -concernientes a crecimiento y productividad, -que permitan establecer con objetividad la conveniencia o no del desarrollo investigativo en este campo.

## Resultados

La **Cuadro I** resume las modificaciones del rendimiento experimentadas en el cultivo de *Alsidium triquetrum* cuando este se efectúa según cinco variantes diferentes de fijación del material (ver **Metodología de trabajo**). Para comprobar además bajo condiciones no óptimas de crecimiento la eficiencia de cada tratamiento en la conservación de la biomasa sembrada, los ocho ensayos de cultivos se distribuyeron en diferentes etapas del ciclo anual.

Como puede observarse, la fijación en cuerdas de soporte, uno de los métodos más frecuentes de cultivo *in situ* de diversas especies de *Gracilaria*, *Gelidium*, *Kappaphycus* y *Laminaria* (MAC FARLANG, 1968; RAJU Y THOMAS, 1971; DOTY, 1988; LAVROSKAYA, 1979) no parecen ser en este caso la opción más apropiada. Con dicho método la pérdida de biomasa alcanzó en invierno  $2.37 \text{ g m}^{-1} \text{ día}^{-1}$  bajo diferentes períodos de cultivo y la variada gama de tamaños, distancias y densidades de siembra.

Aun cuando a partir de la primavera la situación se revierte, los rendimientos obtenidos siempre resultaban muy inferiores a los homólogos empleados con malla de sujeción.

El uso en invierno de este método posibilitó no solo restringir al máximo la pérdida del material, sino incluso lograr mínimos incremento de biomasa cuando se emplearon paños continuos y aberturas con mallas inferiores a 6 cm.



Colocada en bolsas, la especie durante el verano incrementó su peso (a partir de densidades medias de siembra de 366.5 y 193.5 g m<sup>-1</sup>) en valores comprendidos entre 15.9 y 20.5 g m<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Si asumimos un espaciamiento de 0.5 m entre las guías, similar a la distancia de separación establecida para el cultivo de *Kappaphycus* mediante la técnica de monolínea (ARECES *et al.*, 2024), su rendimiento potencial rebasaría la 18 ton ha<sup>-1</sup> en cosechas estivales de no más de 45 días de duración.

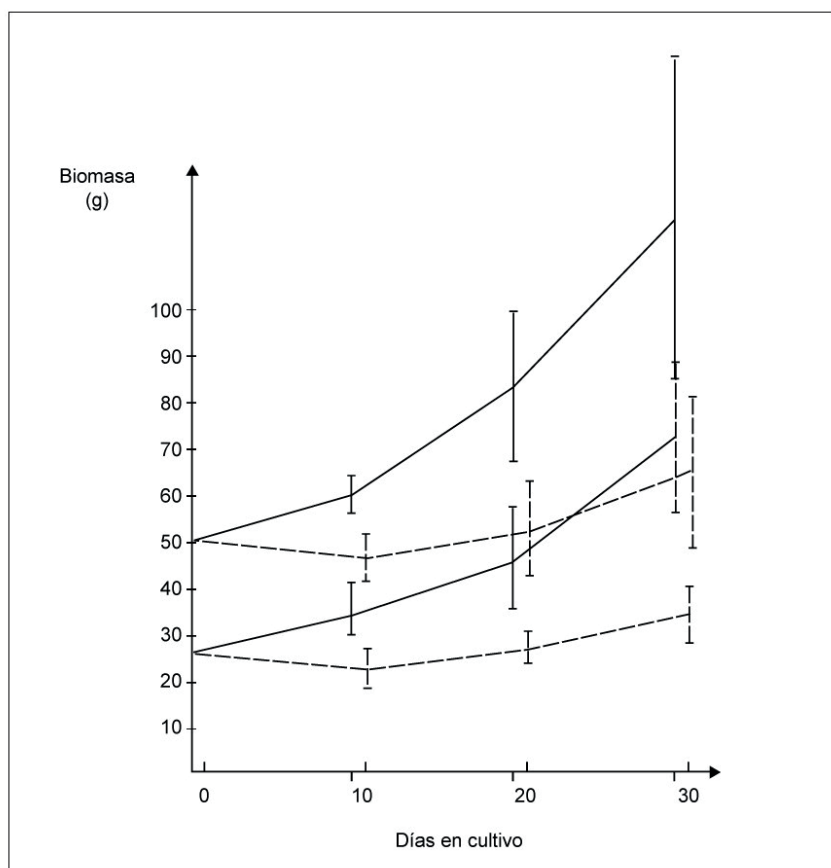
Justamente un año más tarde, bajo similares condiciones de cultivo, la misma incrementó su biomasa razón de 19.9 g m<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Con ello la especie adquirió los estimados anuales de producción evidenciando, asimismo, un consistente comportamiento estacional.

La notoria estacionalidad del crecimiento de esta agarófita (**Cuadro I**) determinó que dicho fenómeno fuera estudiado en detalle durante 1986 (**Metodología de trabajo**). La **Figura 4** muestra la marcha mensual de su crecimiento específico en dos condiciones ambientales disímiles: cultivada superficialmente en una zona de fondo fango-arenoso, y restringida turbulencia, a 40 cm del sustrato rocoso, en un sector costero abierto y con moderadas de resuspensión de sedimentos.

Como se visualiza, el ritmo de crecimiento se incrementa abruptamente a partir de junio, alcanzando en julio su mayor magnitud y decae con rapidez en agosto. Atendiendo al área que forma de colocación de los cabos de sostén el valor medio de dichos índices durante los tres meses veraniegos resultó 2.3 veces superior al registrado en el periodo restante. Esta falta de equivalencia entre los valores soportados en ambas localidades experimentales refleja el marco ecológico óptimo de la planta. Debido a la frecuente de resuspensión del sedimento, a una menor estabilidad de los factores ambientales y quizás a diferencias en las actividades conjunta de raedores y microherbívoros, el crecimiento de la especie, (típica de la zona trasera del arrecife), siempre fue menor en el interior de la rada.

La optimización del uso de bolsa de sujeción atendiendo a criterios ecológicos, permitió, con densidades similares de siembra, incrementar a más de 46% la conversión de biomasa neta del cultivo, de 19.9 a 29.1 g m<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Ello representa, transcripto a cifras de producción, un rendimiento equivalente a 17.5 ton ha<sup>-1</sup> en solo 30 días de labor o, alternativamente 28.5 ton ha<sup>-1</sup> cosechados durante tres meses de máximo crecimiento vegetativo.

**Figura 4.** Evolución comparativa del crecimiento en biomasa experimentado por porciones de *Alsidium triquetrum* de 25 y 50 g de peso durante 30 días de cultivo en cestas (líneas continuas) y bolsas (trazos discontinuos). Cada valor, acotado  $\pm 1$  DE, constituye el promedio de cinco ejemplares. Experimento iniciado el 19 de junio de 1986.



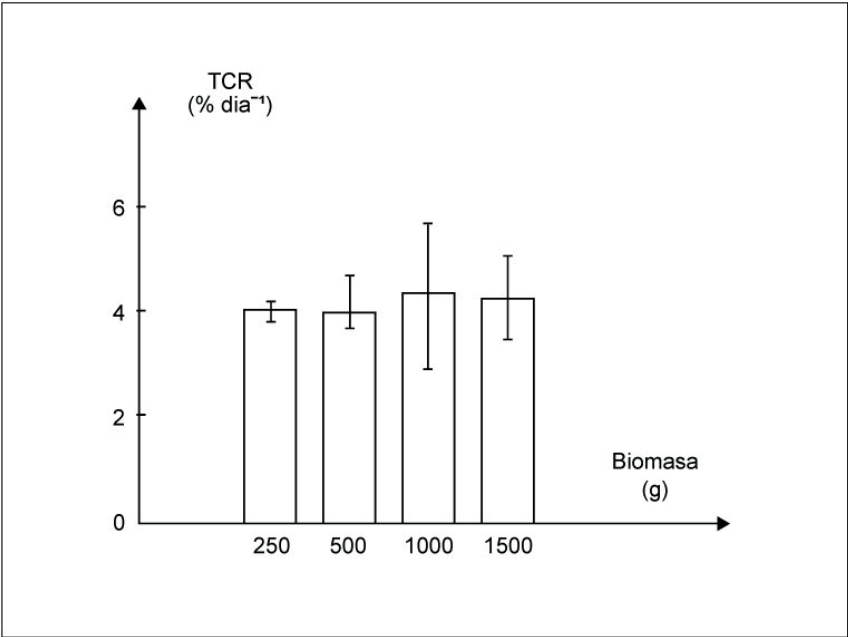
Fuente: ARECES et al., (2020).

Sin embargo, el manejo agrotécnico a gran escala de cultivo de esta agarófita basado en la manipulación de un sinnúmero de bolsas de pequeño tamaño, puede resultar impracticable. Además, si bien la rigidez o compactación del hábito de la planta imposibilita el uso eficiente de las cuerdas sostén como método de fijación, también la inclusión del ejemplar en el interior de la bolsa de malla ceñida puede restringir su crecimiento en el medio. En este caso la tasa de crecimiento disminuirá con respecto a su valor intrínseco aun a pesar de verse limitado el proceso de fraccionamiento y pérdida de biomasa.

Tal efecto fue comprobado al simultaneear la conservación del material en bolsas y cestas. La **Figura 4**, señala claramente el hecho. Registros a intervalos regulares de 10 días, iniciados con 1 día de diferencia confirmaron un crecimiento medio muy superior en aquellos ejemplares incorporados a cestas. Este proceso no se revierte ni aun con el paulatino incremento de las diferencias individuales de peso. Así, al final del experimento, la biomasa media de la planta colocadas en cesta resultó 1.8 veces mayor.

Por otra parte, la densidad de siembra no parece incidir en la tasa de crecimiento al menos en el rango de los 250 a 1500 g. En dicho intervalo el crecimiento específico no manifestó variaciones ostensibles (**Figura 5**), sobrepasando al día la cifra de 4%, magnitud solo comparable a las mejores tasas de crecimiento registradas en bolsas.

**Figura 5.** Variaciones del crecimiento específico medio ( $\mu$ ) en dependencia de la densidad de siembra. Conservación en cestas de 0.5 m<sup>2</sup> de superficie basal durante 19 días. Verano 1987. (Las cotas verticales señalan los valores extremos de cada triade).



Fuente: ARECES *et al.*, (2020).

## Algunos apuntes finales

Aunque resulta azaroso calcular cifras de producción basadas en datos experimentales, la productividad de la especie al menos, es incuestionable. Además, tanto el aumento progresivo de los rendimientos a medida que mejoraba el manejo agrotécnico del cultivo consecutivos, reafirman su potencial agronómico.

Durante el verano, la propagación en sectas permitió duplicar en menos de 20 días la biomasa inicial. En un plano meramente especulativo, partiendo de una densidad de siembra de 1 Kg. por unidad, 5000 cestas confeccionadas con 10,000 m<sup>2</sup> en paño generarían 21.7 ton de biomasa netas en el transcurso de dos meses. Por su magnitud dicho rendimiento es equiparable a la producción de parcelas experimentales, de las mejores variantes de varios cultivos tradicionales (**Cuadro II**). Algunos autores también han estimado los niveles permisibles de producción a partir de los cuales se hace costeable el cultivo de diversos vegetales marinos (**Cuadro III**). Si asumimos un valor de 0.13 para la relación sólidos totales: peso húmedo en *Alsidium triquetrum* (BAARDSETH, 1968), la tasa de producción diaria de esta especie durante el verano, ascendió a 18.8 g. (p.s.) m<sup>-2</sup>. Además de concordar con los valores mínimos de crecimiento establecidos para algunos géneros de agarófitas de reconocida potencialidad agronómica, ello equivaldría habida cuenta de su contenido en agar (GARCÍA, 1985), a una producción de más de 840 g por ha<sup>-1</sup> de un polisacárido cuyo precio de adquisición oscila actualmente entre 17 y 55 dólares el kilogramo.

Esta valoración no se puede mover a espejismos ni a quimeras economicistas. El análisis anterior se ha basado en la simple proyección aritmética de resultado contenidos en una pequeña escala. Su real ampliación a una dimensión industrial colocará a en el tapete otras posibilidades, y otros problemas agrotécnicos que habrán de ser necesariamente resueltos. De cualquier forma, el resto de esto representa merece la pena ser tomada en cuenta.





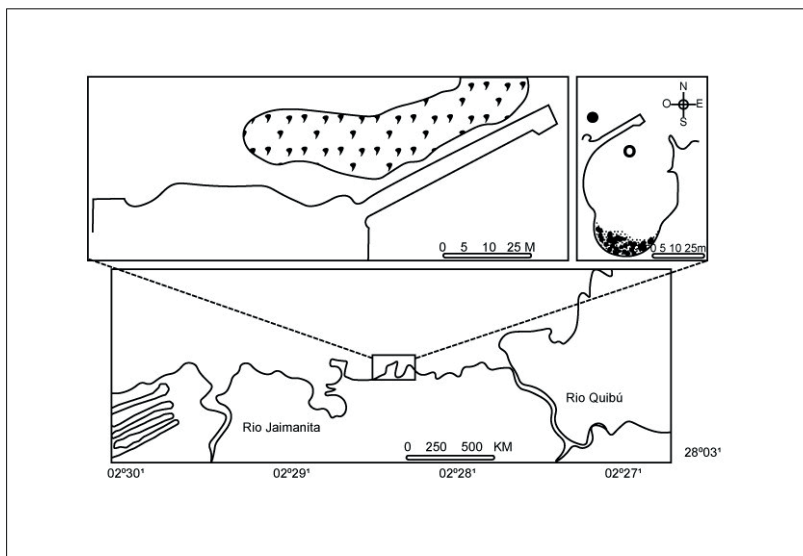
## METODOLOGÍA DE TRABAJO

### A) Contraste de diverso sistema de sujeción y diferentes tamaños y densidades de siembra.

Las ocho experiencias consideradas se realizaron a partir del 11 de febrero de 1985 hasta el 5 de marzo del 86 en la rada del Instituto de Oceanología de la Academia de Ciencias de Cuba (**Figura 6**). Con el fin de restringir la actividad de numerosos herbívoros bentónicos, en particular del erizo *Triplaneustes ventricosus*, todos los ensayos de cultivo tuvieron lugar en la columna de agua, a no más de 0.5 m de la superficie. Para ello se utilizó una estructura cuadrangular compuesta por pilotes de hierro insertados en la base de concreto colocando a 2.5 m de profundidad, sobre el fango-arenoso fangoso. A los pilotes se le fijaron boyas y a estas cuerdas laterales de 10 m de extensión para amarrar en ellas las guías de los diferentes tratamientos de siembra (**Figura 7**).

El material utilizado se colectó manualmente pocas horas antes de ser efectuada la siembra, conservándose en la sombra en un estanque de agua de mar circulante. Todos los ejemplares colectados se escardaron, se lavaron con posterioridad en agua de mar y en el caso necesario se seccionaron y podaron hasta un peso deseado, desechándose aquellas que de una u otra forma evidenciaron algún síntoma de desecación a causa de la manipulación.

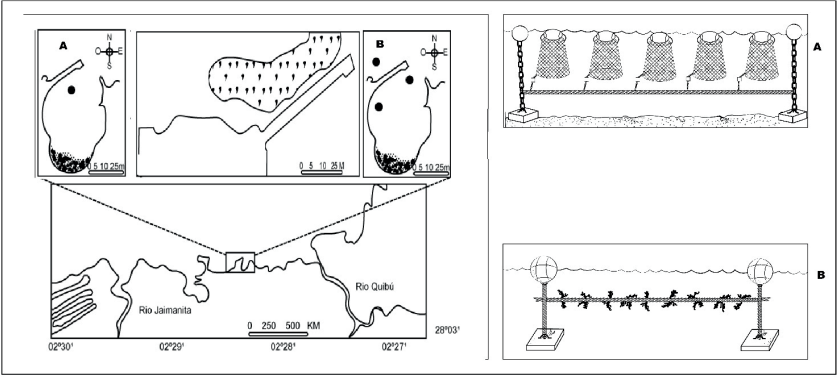
**Figura 6.** Zona de trabajo. El área sombreada representa de manera aproximada la extensión y el contorno del placer de *Alsidium triquetrum* utilizado hasta fines de 1986 en las experiencias de cultivo. (0, ubicación de las estructuras de fijación empleada en ensayos de cultivo superficial., Localización de los soportes circulares destinados al cultivo contiguo al fondo).



**Fuente:** ARECES *et al.*, (2020) modificado.

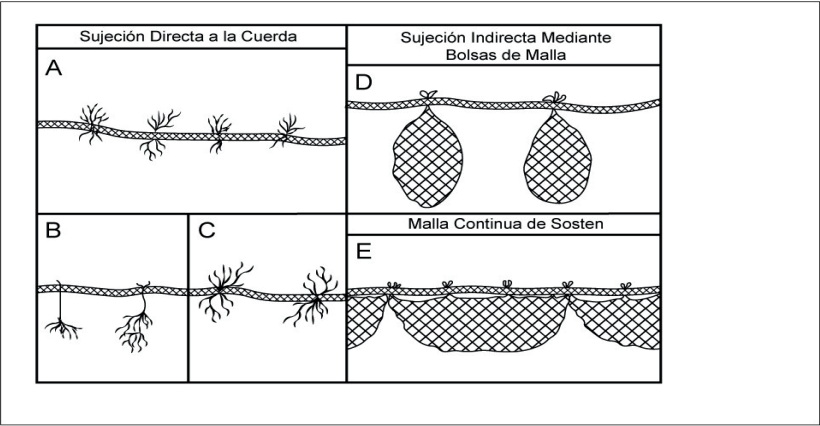
Para facilitar la comparación entre diversas opciones agronómicas técnicas los resultados, expresados en valores de biomasa por unidad lineal, correspondieron a incremento medio diario en peso número húmedo obteniendo con una con un tratamiento. El peso se determinó en balanza técnica con una apreciación de 0.1 g. Se contrastaron dos métodos de fijación. Del primer método, basado en la fijación directa en una soga de capón de 8 mm de grosor, fueron consideradas tres variantes, consistentes en la sujeción del ejemplar entre las cuerdas trenzadas que conforma de la soga (**Figura 8 A**), suspensión del alga a dicha soga por una cuerda libre de 1.5 mm de grosor que no rebasó los 10 m de longitud (**Figura 8 B**), y amarre directo a la misma mediante un alambre fino (**Figura 8 C**). El segundo método, basado en la sujeción indirecta mediante mallas de caprón de diferente luz, comprendió dos variantes: balsas hechas con secciones cuadrangulares de 18 a 33 mm de lado, o rectangulares de 18 por 21 cm (**Figura 8 E**).

**Figura 7.** Diferentes métodos de sujeción utilizados en dos experimentos realizados en las inmediaciones del Instituto de Oceanología. A, cestas suspendidas en soportes, sus variaciones en la **Figura 11**. B, líneas suspendidas en pilotes con algas en sujeción directa, modalidades de sujeción en **Figura 8 A-C**.



Fuente: CABRERA et al., (2022) modificado.

**Figura 8.** Alternativas agrotécnica consideradas en la evaluación de dos métodos de fijación. A, B, C (sujeción directa). D, E (sujeción indirecta mediante bolsas de malla).



Fuente: ARECES et al., (2020).

Al efecto disminuir la variabilidad debida a las modificaciones estacionales del ritmo de crecimiento o un epifitismo o colonización desigual del sustrato, la comparación de la productividad inherente a cada tratamiento se efectuó con cultivos de no más de 54 días de duración.

## B) Variaciones estacionales del crecimiento en condiciones de cultivo.

Para evaluar las características del crecimiento de la especie durante el ciclo anual, fue desarrollado un experimento de cultivo seriado, a intervalo de 30 días, por espacio de 8 meses. desde el 6 de marzo hasta el 3 de noviembre de 1986.

La extracción de los elementales con el fin de efectuar la siembra se realizó mensualmente. El área, la profundidad de colecta, así como la manipulación del material ya obtenido, fue semejante a la descrita en el epígrafe anterior. En esta ocasión, no obstante, con el fin de asumir el efecto inducido por la diversidad genética del material, se seleccionó siempre un pequeño número de plantas de gran talla e idénticas morfología, las cuales una vez sesionadas en el laboratorio hasta el peso de 50 g, se reunían en un estanque con agua de mar circulante en donde eran escogidas al azar para ser colocadas en su bolsa respectiva.

Tanto el acopio de las cuerdas que sostén con ejemplares cultivados, como el pesaje de estos y preparación y disposición de las áreas de cultivo de nuevas guías con bolsas de material fresco, se llevó a cabo en el transcurso del día de muestreo.

Para preparar las guías se utilizaron cuatro cabos de caprón de 4.5 m de extensión y 8 mm de grosor, fijándose a 1.5 m de los extremos de cada uno, 10 bolsas separadas entre sí 15 cm. Todas las bolsas se confeccionaron con paños de malla de caprón de 6 mm de luz y 27 cm de lado. Al final del periodo de cultivo establecido, se extraían las dos guías colocadas previamente, constituyéndose por otras dos condiciones de antemano.

Las cuerdas de sostén fueron ubicadas en dos lugares diferentes: a 0.5 - 0.75 m de profundidad, en el interior de la rada, fija en la estructura rígida usada en las experiencias anteriores y en el litoral alledaño, a 40 cm del fondo (**Figura 7A**), unida a tubos cortos de goma insertados en el soporte circulante en concreto colocada sobre sustrato rocoso, a 1.5 o 2 m de profundidad.

A partir de las variaciones de peso húmedo, -registrado en la balanza de técnica de 0.1 g de apreciación, - se obtuvo una tasa de crecimiento específica aplicándose para ello la formulación  $\mu = 100 (\log e W_1 / W_0) t^{-1}$ , donde  $W_1$  y  $W_0$  constituyen el peso inicial y final de la plantas y  $t$  el tiempo transcurrido en ambas mediciones.

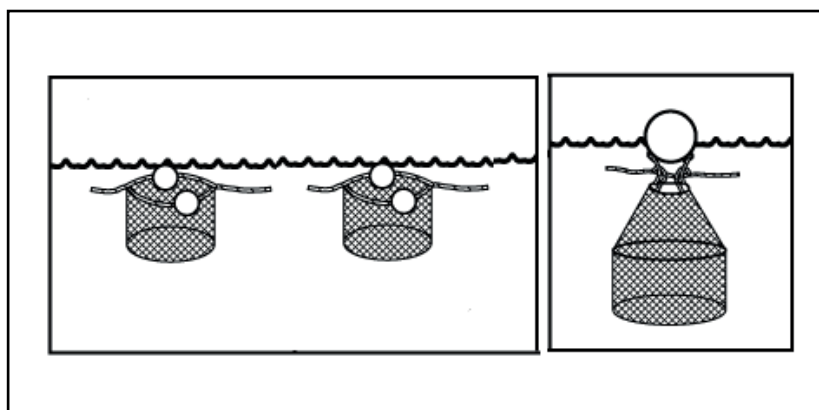
## C) Evaluación de crecimiento de *Alsidium triquetrum* en sectas suspendidas

Las dos experiencias con cestas cuyos resultados se exponen en el informe se llevaron a cabo durante los meses de junio y julio de 1986 y junio de 1987. Para su realización fueron empleadas cestas de malla de caprón con luz, geometría y cierre



diferente (**Figura 9, Cuadro IV**). En ambas experiencias las cestas se suspendieron en la columna de agua mediante boyas superficiales unidas a una cuerda guía fija a pilotes de las estructuras de soporte utilizadas inicialmente para la evaluación de diversos métodos de fijación (ver **Figura 11**).

**Figura 9.** Primeros ensayos de cultivo de la agarófita *Alsidium triquetrum* en cestas suspendidas. A la derecha puede observarse el tipo de cestas usado en la experiencia correspondiente al verano de 1986 (**E-1**). A la izquierda aparecen dos cestas utilizadas en el experimento que tuvo lugar en junio de 1987 (**E-2**).



**Fuente:** Elaboración propia.

El experimento ejecutado en el verano de 1986 (**E-1**) se efectuó con dos cestas distantes entre sí a 1 m. La experiencia correspondiente a junio de 1987 (**E-2**), de mayor envergadura se realizaron con 12 cestas separadas entre sí 0.5 m. En esta ocasión, al cabo guía al cual se suspendieron las mismas se orientó según la dirección del viento predominante.

A semejanza de los experimentos de conservación sobre cuerdas o el interior de bolsas y paños, todo el material empleado se colectó manualmente a 1.5 ó 2.0 m de profundidad, en los placeres cercanos al Instituto, pocas horas antes de la siembra. Tanto la manipulación como el procesamiento posterior de los ejemplares colectados, han sido ya descritos.

En el experimento **E-1**, cada cesta se le añadieron 15 fracciones de alga entre 50 y 25 g. respectivamente, para lograr una biomasa final de siembra de 1125 g por cesta. En la experiencia **E-2**, por el contrario, no se tuvo en cuenta ni el número, ni el tamaño de los ejemplares incorporados, considerándose sólo cuatro densidades diferentes de siembra: 250, 500, 1000 y 1500 por 0.5 m<sup>2</sup>.

En este último ensayo los cuatro tratamientos se triplicaron de forma simultánea con el fin de poder estimar con cierta precisión la variedad inherente a cada uno.

Aunque las dos experiencias, el aumento de biomasa (expresado en peso húmedo) durante el intervalo de tiempo prefijado se utilizó para cuantificar el crecimiento, de la última, en particular, esto también se expresó mediante la tasa ( $\mu$ ) de crecimiento específico.



## CULTIVO EN LÍNEAS DE CESTAS SUSPENDIDAS

En Cuba no se conocen muchas reservas de algas marinas capaces de sustentar una explotación comercial sostenible (BAARDSETH, 1968), aunque algunas especies como *Alsidium triquetrum* y *Gracilaria domingensis* pueden formar densas poblaciones monoespecíficas (DÍAZ-PIFERRER, 1961; ARECES *et al.*, 2022).

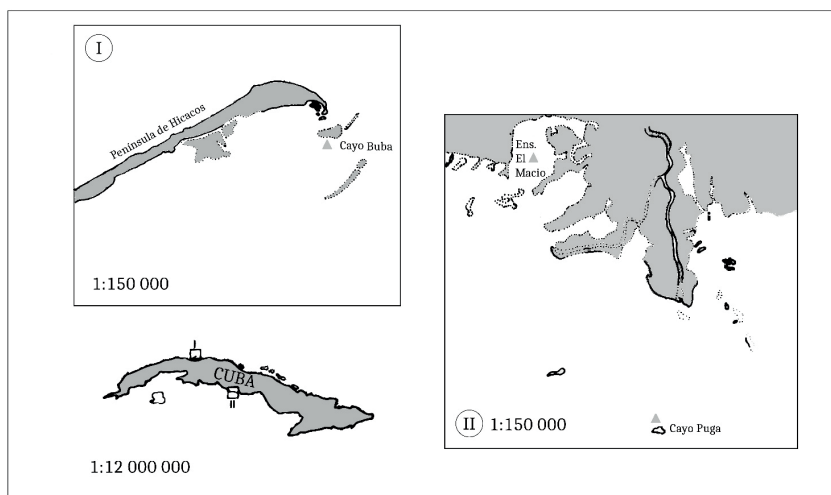
La creciente demanda nacional de ficocoloides, y en particular de agar, ha impulsado el desarrollo de ensayos de maricultura (ARECES, 1989). En estas experiencias, *A. triquetrum* logró un mejor crecimiento que *G. domingensis*, mostrando una mayor resistencia al pastoreo (ARECES *et al.*, 2020).

En estudios adicionales (ARECES y SOBERATS, 1992) demostraron que *A. triquetrum* presenta tasas de crecimiento razonables en ensayos a corto plazo utilizando un sistema de cestas flotantes. A raíz de estos resultados previos, se diseñó un programa de cultivo con el fin de probar la productividad y persistencia de *A. triquetrum* cultivado en cestas bajo diferentes condiciones ambientales.

Se recolectaron ejemplares sanos de *Alsidium triquetrum* entre enero y agosto en las playas El Salado (23° 04' 24" N, 82° 60' 19" O) y Viriato (23° 04' 29" N, 82° 28' 20" O), en la costa norte de Cuba, y se transportaron a los sitios de cultivo en bolsas de plástico, el almacenamiento del material colectado no rebasó las 8 horas de almacenamiento.

Estas experiencias se llevaron a cabo en tres lugares con diferentes características ambientales: dos de ellos cerca de la Bahía de Casilda (Cayo Puga y Ensenada El Macío), en la costa sur, y el tercero (Cayo Buba), a la entrada de la Bahía de Cárdenas, en la costa norte (**Figura 10**).

**Figura 10.** Ubicación de los sitios de cultivo de *Alsidium triquetrum*: I. Cayo Buba (23° 10' 34" N, 81° 71' 42" O), Bahía de Cárdenas; II. Arroyo El Macío (21° 44' 30" N, 79° 53' 42" O) y Cayo Puga (21° 36' 42" N, 79° 50' 24" O), en la Bahía de Casilda, en la costa sur central de Cuba.



**Fuente:** Elaboración propia.

## Características de las zonas de cultivo

Cayo Puga es un área protegida de olas con un fondo arenoso y una profundidad media de 3 metros, y densa vegetación de pastos marinos (*Thalassia testudinum*). La visibilidad submarina varía entre 8 y 15 metros. El Macío es una bahía protegida de fondo fangoso con intercambio de agua limitado, de 5 metros de profundidad, con una gran cantidad de partículas en suspensión y una visibilidad submarina de 3 metros.

La tercera zona, al sur de Cayo Buba, se encuentra bajo la influencia de corrientes de marea moderadas o, en ocasiones, fuertes debido a su proximidad al canal de entrada dragado de la Bahía de Cárdenas. Su visibilidad submarina varía entre 5 metros, en pleamar y 3 metros en bajamar. El fondo cambia con la profundidad, aumentando conforme se acerca al canal. A menor profundidad (1,5 m), predominan los pastos marinos en un sustrato arenoso-fangoso. A los 3 m de profundidad, predomina un fondo fangoso-arenoso con eventuales poblaciones de *Halimeda opuntia*, y en zonas más profundas (6 metros) existe un fondo fangoso donde no se encuentran macroalgas.

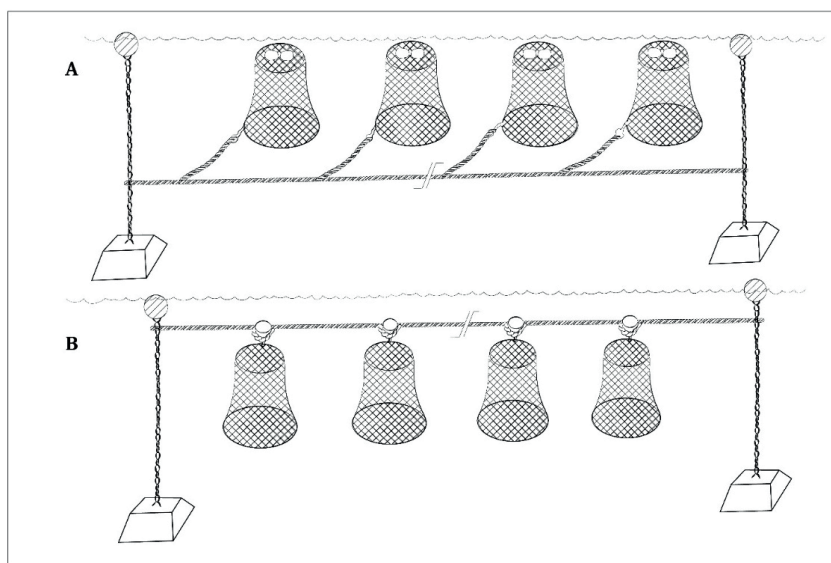
## Métodos de cultivo

Se utilizaron cestas cónicas truncadas con un área basal de  $0,5 \text{ m}^2$  y 60 cm de altura, fabricadas con aros de hierro y malla de polipropileno de 1,6 cm de abertura (ARECES y SOBERATS, 1992).

Cada cesta cuenta con dos boyas fijas en la parte superior, sujetas a la línea principal mediante una cuerda de polipropileno de 0,5 m de longitud, separadas 0,5 m entre sí (**Figura 11 A**). Además, en un experimento realizado bajo la superficie, se eliminaron las boyas de la cesta y se sujetaron directamente a la línea principal, que se colocó a la profundidad deseada (**Figura 11 B**).

Las líneas se situaron paralelas a la corriente de agua y el conjunto se fijó al fondo mediante cadenas con pesos y boyas en sus extremos.

**Figura 11.** Sistema de cestas suspendidas utilizado en las experiencias de cultivo: **A**, Sistema de cestas de superficie; **B**, Sistema de cestas de fondo.



**Fuente:** Elaboración propia.



## Descripción de las experiencias realizadas

### Crecimiento de tipos o partes distintos del material algal colectado (E-1)

A su arribo a cayo Puga, las algas se clasificaron en tres tipos: Plantas enteras con disco basal (**EPDB**), Plantas enteras sin disco (**EP**) y Fragmentos de plantas (**PF**), y fueron cultivadas durante 43 días evaluándose su crecimiento en dos ocasiones. El número de cestas entre 3 y 10 para cada tipo de planta, se exponen en la **Cuadro V**.

### Efecto de la biomasa inicial (E-2)

Se sembraron biomásas iniciales 0.5 kg y 1.0 kg en cestas ubicadas de forma alterna en las líneas A y B de Cayo Puga. Se realizaron dos muestreos.

### Efecto de la profundidad (E-3)

En Cayo Puga fue realizado un cultivo a una profundidad de 2 m y una separación de 0.5 m del fondo, y otro con el sistema normal de cestas flotantes bajo la superficie, con algas recién extraídas de los bancos naturales y con las de 92 días de cultivo. Esta experiencia tuvo como objetivo disminuir la intensidad luminosa y tratar de controlar así, tanto el epifitismo presente como la fotooxidación excesiva de los pigmentos en las algas cultivadas en esa localidad, así como ver el efecto sobre el crecimiento de estos factores, incluyendo el tiempo de cultivo.

### Efecto de la localidad (E-4)

Para estudiar la influencia de las condiciones ambientales de las áreas seleccionadas sobre el crecimiento de las algas en cultivo; este fue evaluado en el transcurso de los muestreos efectuados, y en lo fundamental, con los iniciales en cada localidad, así como los realizados en épocas similares, para evitar la estacionalidad.

### Efecto de la distancia de la costa (E-5)

Fue evaluado el crecimiento de las algas en tres líneas de cestas (**A**, **B** y **C**) ubicadas a distancia de la costa diferentes (60, 120 y 80 metros) en Cayo Buba, sobre las cuales hay un incremento del efecto de las corrientes a medida que estas se alejan del cayo; así como en las líneas **A** y **B** de Cayo Buga comprendidas en el experimento 2 que se encontraron a 150 y 180 metros de la orilla, en condiciones similares ante la acción de factores físicos como las corrientes y el oleaje.

## Efecto del tiempo de cultivo (E-6)

Este factor fue evaluado durante los muestreos efectuados en Cayo Buba (muestreo 7-13) donde fueron mantenidas las algas en cultivos por tiempos acumulativos, y en especial en los dos últimos, donde se cuantificaron las algas cultivadas en estas condiciones con las recién obtenidas del banco natural, así como en el experimento 3 realizado en Cayo Puga.

Las condiciones experimentales en que se realizó el cultivo se muestran en la **Cuadro V**.

Los experimentos fueron controlados cada 20 días aproximadamente. A la biomasa algal contenida en cada cesta, una vez extraída de ella y eliminando el exceso de agua por centrifugación manual, se le determinó el peso húmedo por medio de una balanza monoplato con precisión  $\pm 1$  g. Los crecimientos se calcularon como el procedimiento de peso húmedo diario expresado en porcentaje.

Durante los muestreos, se determinó la temperatura y la salinidad in situ con un termómetro de inversión ( $\pm 1$  C°) y un refractómetro manual (Atago, Japón). Se recolectaron muestras de agua y se congelaron para determinar el contenido total de nitrógeno y fosfato mediante el método de oxidación con persulfato.

## Estadísticos empleados en los experimentos

La tasa de crecimiento relativo (TCR) se calculó como el incremento diario del peso húmedo expresado en porcentaje.

$$\text{TCR} = [\ln (\text{peso final} / \text{peso inicial}) / \text{días}] \times 100.$$

La variabilidad relativa de las tasas de crecimiento se evaluó mediante el coeficiente de variación (C.V.) corregido por sesgo (SOKAL y RHOLF, 1981). La baja similitud entre el coeficiente de variación de cada tratamiento y el bajo número de canastas utilizadas en algunos experimentos indicaron la necesidad de pruebas no paramétricas. Se utilizó el estadígrafo U de Mann-Witney y el método de aleatoriedad de Kruskal-Wallis (SIEGEL, 1974) para la variación de muestras independientes.

## Resultados

### Concentración de nutrientes

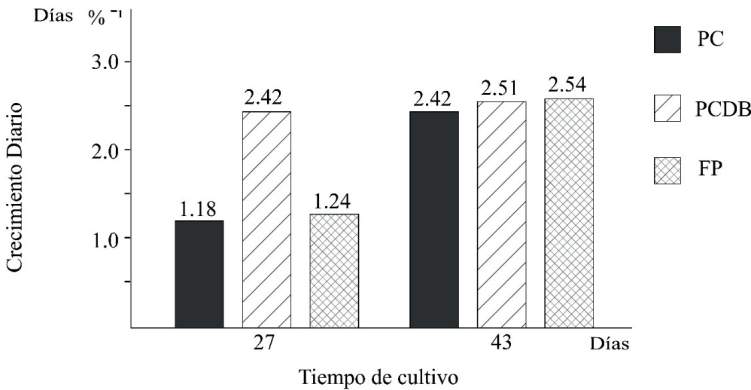
Las concentraciones de nutrientes obtenidos durante el muestreo se presentan en la **Cuadro VI**. Adicionalmente, los valores de salinidad oscilaron entre 36 y 38 ppm, y la temperatura del agua entre 25,6 y 30,5 °C durante todo el período de estudio.

### Crecimiento de los tipos de plantas

Las plantas enteras con disco basal (EPDB) crecieron significativamente más ( $\theta = 0,002$ ;  $2,4 \text{ \% día}^{-1}$ ) que los demás tipos de plantas cultivadas durante un período de 27 días en condiciones similares ( $1,18 \text{ \% día}^{-1}$  para EP y  $1,24 \text{ \% día}^{-1}$  para FP).

Aunque las tasas medias de crecimiento entre EP y FP fueron similares, sus CV difieren ( $86,1 \text{ \%}$  y  $203,2 \text{ \%}$ , respectivamente) de los de las EPDB, y los resultados obtenidos al final del cultivo fueron menos homogéneos. Estas diferencias desaparecieron después de 43 días, alcanzando una tasa de crecimiento superior a la obtenida al inicio ( $2,5 \text{ \% día}^{-1}$  para FP) (**Figura 12, Cuadro VII**).

**Figura 12.** Tasas de crecimiento relativas de los tipos de *Alsidium triquetrum* cultivados durante 27 y 43 días: **EPBD**, plantas enteras con disco basal; **EP**, plantas enteras sin disco basal; y **PF**, fragmentos de plantas. (Los números sobre las barras corresponden a los valores de crecimiento diario).

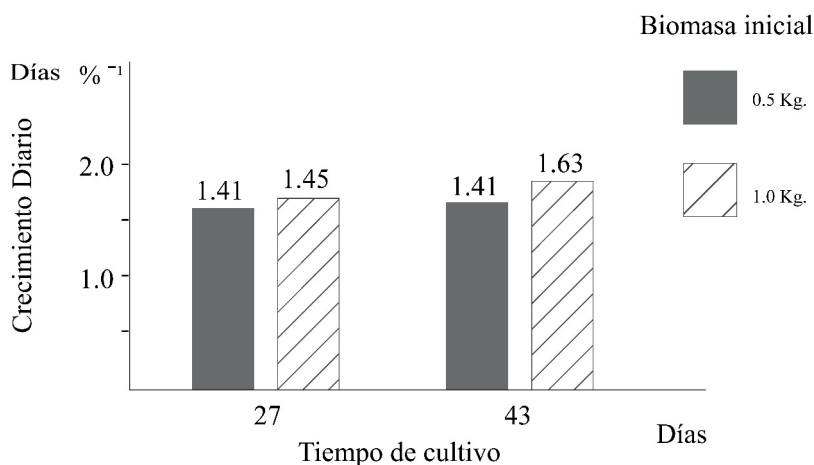


Fuente: Elaboración propia.

### Efecto de la biomasa inicial

No se encontraron diferencias significativas en el cultivo realizado con 0.5 y 1.0 kg de biomasa inicial. Ambos resultados fueron muy similares ( $1.6$  y  $1.4 \text{ \% día}^{-1}$ , respectivamente) ( $\theta = 0.931$ ). (**Figura 13**)

**Figura 13.** Efecto del tiempo de cultivo sobre las tasas de crecimiento de *Alsidium triquetrum* cultivo realizado Cayo Buba. (muestréos 6 y 7). (Los números sobre las barras corresponden a valores diarios de crecimiento).

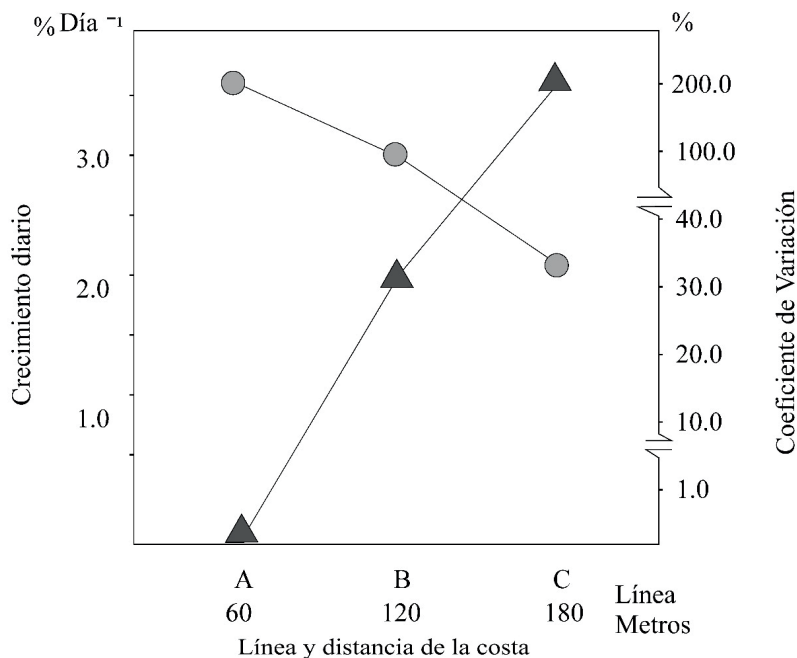


Fuente: Elaboración propia.

### Efecto de la distancia a la costa

En la **Figura 14** se observa una disminución gradual en el crecimiento de las algas en las líneas de cestas **A**, **B** y **C** de Cayo Buba (muestreo 6, véase la **Cuadro V**). El coeficiente de variación aumentó a medida que las líneas se alejaban de la costa. Por otro lado, el crecimiento de las líneas de Cayo Puga no mostró diferencias considerables entre sí.

**Figura 14.** Efecto de la distancia a la costa sobre el cultivo de *Alsidium triquetrum* en las líneas A, B y C de Cayo Buba: , tasa relativa de crecimiento; , dispersión de los resultados (Coeficiente de Variación). (Muestréos 1 a 5).



**Fuente:** Elaboración propia.

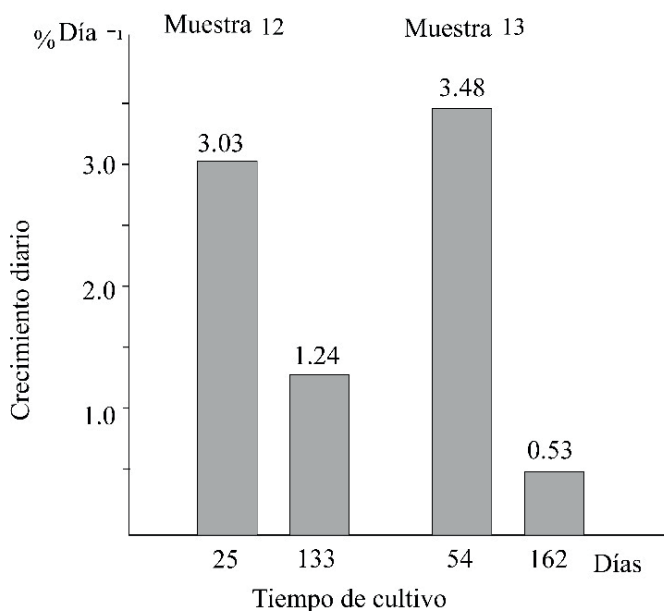
En el segundo muestreo realizado en Cayo Buba, la tasa de crecimiento en la línea A fue menor que la obtenida en el primer muestreo (0.5 y 3.6 % día<sup>-1</sup>, respectivamente). Además, se observó una recuperación del crecimiento durante los muestreos 3, 4 y 5 (1.5; 0.9 y 1.0 % día<sup>-1</sup>); sin embargo, estos resultados continuaron siendo significativamente menores ( $\theta = 0.2$ ) que los registrados en el primer muestreo, donde las plantas crecieron durante 23 días (22 días) (**Cuadro V**).

## Efecto de la profundidad

Como se muestra en la **Figura 15**, en el muestreo 12, las algas, tras 25 días de cultivo, crecieron significativamente más ( $\theta = 0.02$ ; 3.0 % día<sup>-1</sup>) que las cultivadas en un tiempo acumulado de 133 días (1.2 % día<sup>-1</sup>). Mientras que en el muestreo 13, se mantuvo una superioridad de las algas cultivadas durante 54 días sobre las de 162 días ( $\theta = 0.001$ ) con 4.0 y 0.5 día<sup>-1</sup>, respectivamente.

En las cestas a 2 m de profundidad en Cayo Puga, las algas cultivadas durante 22 días mostraron un crecimiento medio de  $3.1 \text{ día}^{-1}$ , siendo significativamente superior ( $\theta = 0.002$ ) a las de  $1.0 \text{ día}^{-1}$ , en las plantas cultivadas durante 114 días.

**Figura 15.** Efecto del tiempo de cultivo sobre la tasa de crecimiento de *Alsidium triquetrum* en cultivos realizados en Cayo Buba (muestreos 12 y 13). (Los números sobre las barras corresponden a los valores diarios de crecimiento).



**Fuente:** Elaboración propia.

Una vez instalada la línea de cestas cerca del fondo, se observó la presencia de juveniles de *Sparisoma* y *Thallasoma* que se alimentaban de las epífitas que crecían en el *A. triquetrum* cultivado, eliminando la mayor parte de las plantas. Esto se verificó en el siguiente muestreo.

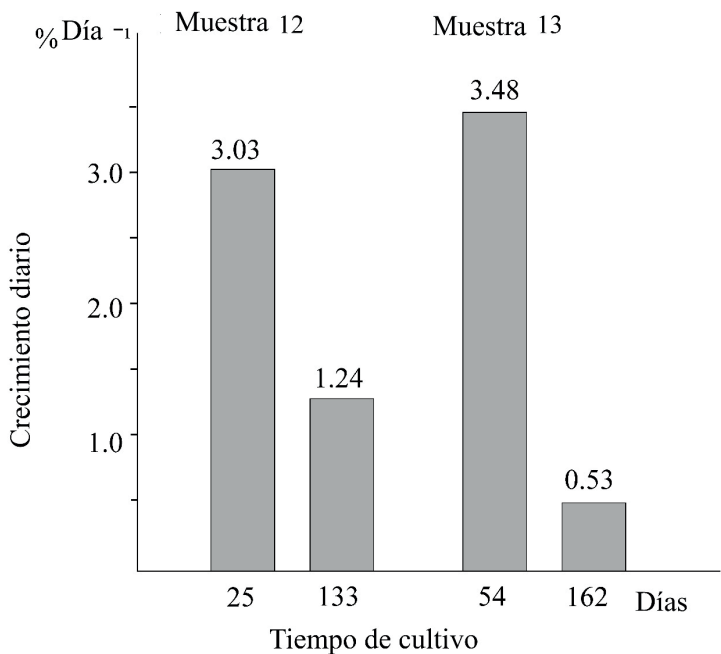
### Efecto del sitio experimental

La **Figura 16** muestra que la tasa media de crecimiento obtenida en el cultivo realizado en El Macío ( $1.9 \text{ % día}^{-1}$ ) fue significativamente menor ( $\theta = 0.002$ ) que la obtenida en Cayo Buba ( $3.0 \text{ % día}^{-1}$ ), en un período y estación de cultivo similares (julio-agosto). Esta última mantiene su superioridad ( $\theta = 0.002$ ) en comparación con el valor inicial obtenido en Cayo Buba ( $1.7 \text{ % día}^{-1}$ ).

En las algas cultivadas en Cayo Puga, el fenómeno de blanqueamiento se observó desde el inicio. Su característico color rojo oscuro cambió a rojo pálido y posteriormente a amarillo claro o crema. Este fenómeno no se observó en la estación de Cayo Buba, donde las algas mantuvieron su color rojo intenso durante todo el tiempo de experimentación.

El epifitismo estacional con *Ceramium* y *Ulva* se presentó en las estaciones de Cayo Puga casi desde el inicio de los experimentos. En Cayo Buba, *Acanthophora*, *Cladophora*, *Spyridia* y *Laurencia* tuvieron la mayor incidencia en los cultivos. Además, la epibiota de crecimiento o de abanico, compuesta principalmente por ascidias coloniales solitarias, *Pennaria* (Hidrozoaria) y *Balanus* (Cirripedia), formó parte de las epifitas. En El Macío, el crecimiento excesivo de estos últimos organismos imposibilitó el cultivo después del primer muestreo.

**Figure 16.** Efecto del sitio sobre los cultivos de *Alsidium triquetrum* en Cayo Puga, Cayo Buba. (Los números sobre las barras corresponden a los valores de crecimiento diario). (Muestras 12 y 13)



Fuente: Elaboración propia.



## Sistema de eficiencia

Las unidades utilizadas se mantuvieron intactas durante todo el experimento, excepto al final del mismo (a los 90 días), cuando las cestas presentaron roturas en la sección inferior de la malla, causadas por el roce de las piezas metálicas y el efecto cortante de los percebes adheridos en el borde. Esto provocó una pérdida parcial o total de biomasa en la cesta, que se colgó para reparar o reemplazar estas unidades.



## DISCUSIÓN

El crecimiento obtenido en estos cultivos marinos, con tasas máximas de  $4.8\%$  día<sup>-1</sup> y valores medios iniciales de entre  $2\%$  y  $3\%$  día<sup>-1</sup>, no es elevado en comparación con el  $14\%$  día<sup>-1</sup> registrado para una especie altamente productiva como *Hypnea musciformis* en Brasil (BERCHEZ *et al.*, 1989). Según CASTELAR *et al.*, (2016), en condiciones in vitro, *Hypnea* obtuvo mejores resultados que *Kappaphycus alvarezii* ( $9.4 \pm 2,1\%$  día<sup>-1</sup> frente a  $5.0 \pm 1,2\%$  día<sup>-1</sup>). En cambio, estos resultados son similares a los considerados buenos, de  $5.8$  a  $7.2\%$  día<sup>-1</sup>, para *Eucheuma*, cultivo desarrollado con éxito en Filipinas (HURTADO y CHENEY, 2003).

Con excepción del disco basal y el talo de primer orden, los demás talos de *Alsidium* presentan una rigidez relativa que provoca la rotura de sus ramas bajo una acción mecánica, de moderada a fuerte, impidiendo la imbricación en cuerdas, como se utiliza comúnmente en cultivos comerciales de *Gracilaria* (SMITH y BOLTON, 1999) y *Undaria* (BOLD y WYNNE, 1985). Estas consideraciones sobre las porciones más óptimas para la propagación de *Alsidium* han sido presentadas por ARECES *et al.* (2022) en el protocolo de cultivo de la especie.

Si bien las cestas podrían eliminar este inconveniente, al permitir que las algas crezcan libremente en su interior, no garantizan la preservación total de la biomasa, la cual se pierde cuando la abrasión contra las paredes de la malla se intensifica por fuertes corrientes u olas. Esto se demuestra en los resultados de las muestras 6 y 8, que indican que el cultivo en cestas de *A. triquetrum* no debe exponerse a corrientes fuertes. Se recomienda el procedimiento opuesto para el cultivo en cuerdas de *Eucheuma* (TRONO y GAZÓN-FORTES, 1989) y otras especies con cuerdas fuertes y gruesas como *G. Cornea*, utilizada en Santa Lucía (SMITH *et al.*, 1984).

Si bien, la unidad de cestas podría haberse optimizado reduciendo su altitud, debido a que, para la biomasa utilizada, las algas se asentaron justo en el fondo, las cestas de malla y las algas actuaron como trampas de sedimentos, causando estrés, fragmentación y eventual pérdida de biomasa. Estos efectos se incrementaron con la incidencia de los fenómenos ambientales mencionados anteriormente.

Estos factores aparentemente determinaron un crecimiento mayor y más homogéneo en los períodos iniciales de cultivo. El crecimiento disminuyó con el tiempo (particularmente después de los primeros 20 días). Esto también ocurrió en cultivos

*in situ* de *Gracilaria* realizados en aguas estuarinas de Florida con jaulas de malla plástica, donde el cultivo generalmente murió después de 4 a 8 semanas de cultivo (HANISAK, 1990). Sin embargo, los experimentos realizados en *Kappaphycus* con jaulas flotantes proporcionaron espacio y buena protección para que los propágulos prosperaran, evitando la influencia de los herbívoros. El crecimiento óptimo ocurre durante junio, julio y agosto, cuando las velocidades de la corriente aumentan y los niveles de nitrato y fosfato son más altos que en otros meses. Sin embargo, en nuestra experiencia, *Alsidium triquetrum* permaneció viable durante largos períodos, como se observó en la estación de Cayo Buba después de que se completaron estas pruebas.

La relación entre la forma y el tamaño de las algas contenidas en la cesta y la luz de la malla son factores que afectan el mantenimiento de la biomasa y, por lo tanto, la productividad final de este tipo de sistema de cultivo. Así, se observó cómo, en las experiencias con material dividido en tres tipos, las mayores pérdidas se registraron en las cestas con fragmentos de planta (PF). Además, estas diferencias desaparecieron con el desarrollo posterior de la planta.

Las experiencias realizadas con biomásas de 0,5 - 1,0 kg, no revelaron diferencias entre ellas. Esto indica que, para estas densidades y su posterior incremento, no se observó autolimitación en la absorción de nutrientes ni de luz. Este último, aparentemente, no constituye un factor limitante importante en el crecimiento de la especie. En experimentos de laboratorio, se ha observado que *A. triquetrum* presenta respuestas fotosintéticas óptimas a bajas intensidades de luz, lo que contradice la frecuente presencia de esta especie en aguas someras con alta luminosidad del Mar Caribe (MATHIESON y DAWES, 1986).

El hecho de que los peces se alimenten de las epífitas sin afectar las algas cultivadas, y la presencia de la liebre marina *Aplysia dactylomela*, que pasta y pone entre las ramas de las algas (como se conoce en sus relaciones con otras algas del género *Laurencia*) (HAY y FENICAL, 1989), nos hace pensar que *A. triquetrum* podría producir algún factor disuasorio de la biosíntesis para los peces. Esto es común en varias algas de la familia Rodomelaceae (HAY y FENICAL, 1988) y es una característica valiosa que permite su cultivo en aguas con peces herbívoros, abundantes en aguas tropicales.

El equilibrio entre los micronutrientes aportados por la Bahía de Cárdenas y una zona cercana a manglares, sumado a la disminución de la luz en la columna de agua y una corriente moderada, son los factores que pudieron haber determinado los mejores resultados en el cultivo realizado en las zonas más cercanas a Cayo Buba (línea A).

Las tasas de crecimiento promedio (3,6 % día<sup>-1</sup>) y el máximo (4,8 % día<sup>-1</sup>) alcanzados por *A. triquetrum* en esta zona durante los primeros períodos sugieren que, expuesta a condiciones adecuadas, esta especie es capaz de duplicar su biomasa

en un período promedio de aproximadamente un mes de cultivo. Se espera obtener mejores resultados con ciclos cortos de siembra-cosecha y el empleo de otras técnicas de cultivo in situ que permitan una manipulación más sencilla y un mantenimiento más eficiente de la biomasa utilizada.

Por otro lado, estos métodos de cultivo podrían utilizarse para el escalado experimental o para otras especies que no se cultivan en un sistema de cuerdas.



## CONSIDERACIONES FINALES

La especie de *A. triquetrum* cultivada con el sistema de cestas suspendidas presentó un aumento máximo de peso del 4.8 % día<sup>-1</sup>, con un valor medio del 2-3 % día<sup>-1</sup> en los primeros períodos de cultivo. De las tres áreas estudiadas, la más cercana a Cayo Buba (línea A) fue la que obtuvo las mayores tasas de crecimiento y viabilidad de las algas. El tiempo de cultivo tuvo una gran influencia en el crecimiento; los valores más altos se alcanzaron en los primeros 20 y 40 días. No se registraron diferencias significativas utilizando diferentes pesos iniciales (0,5 - 1,0 kg) de biomasa por cesta.

La productividad se vio afectada por las pérdidas de biomasa debidas a las corrientes de agua y el oleaje. Los altos niveles de sedimento en suspensión y la presencia de organismos sésiles también afectaron la productividad y las manipulaciones del sistema. El sistema de cestas suspendidas aparentemente no es una buena alternativa para el cultivo de *A. triquetrum* a mediana o gran escala. Sin embargo, podría usarse para ampliar la escala experimental para otras especies, que no se puede cultivar en un sistema de cuerdas e. g. *Caulerpa racemosa*.

## REFERENCIAS

ALCOLADO, P. M. (1991). Ecological assessment of semi-enclosed marine water bodies of Archipiélago Sabana-Camagüey, prior tourism development. *Marine Pollution Bulletin*, 23, 375-378.

ARECES, A. J., CABRERA, R., DÍAZ-LARREA, J. (2022). Guía ilustrada para el cultivo in situ de *Alsidium triquetrum*. *Brazilian Journals Publicações de Periódicos e Editora*.

ARECES, A. J. (1984). *Cultivo de macroalgas marinas*. Informe al Ministerio de la Industria Pesquera. 3p, 1 Tabla, 3 anexos. [Inédito].

ARECES, A. J. (1987). Acerca de la factibilidad de cultivo de *Bryothamnion triquetrum* (Gmelin) Howe (Phycophyta, Rhodophytina, Ceramiales) [Inédito]. *Archivo. Científico. Instituto de Oceanología*, 22 p 8 figuras, 4 tablas, 1 anexo.

ARECES, A. J. (1989). *Fisionomía del agar y su industria*. Ed. Academia, La Habana.

ARECES, A. J., CANO, M., VALDÉS-IGLESIAS, O., RODRÍGUEZ AGRAMONTE, F. V. (2024). Introducción General. (pp: 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.

ARECES, A.J. (1989). Fisionomía del agar y su industria. Instituto de Oceanología, Editorial Academia de Ciencias de Cuba.

ARECES, A.J., ARAUJO, M. (1996). Influencia de la salinidad y la temperatura sobre el crecimiento de *Bryothamnion triquetrum* (Gmelin) Howe (Rhodophyta: Rhodomelaceae). *Revista Biología Tropical Costa Rica*, 44, 449-454.

ARECES, A.J., CABRERA, R., DÍAZ-LARREA, J. (2020). *Biotechnología de agarófitas del género Alsidium C. Agardh*. Editorial Académica Española.

ARECES, A.J., CABRERA, R., DÍAZ-LARREA, J., COLLADO-VIDES, L. (2023). Relationship of trace elements concentration and growth rate in *Alsidium triquetrum* (Rhodophyta). *American Journal of Plant Sciences* 14: 323-338.

ARECES, A.J., SOBERATS, L.R. (1992). Optimización del cultivo in situ de *Bryothamnion triquetrum* (Gmelin) Howe mediante evaluación de diversos sistemas de sujeción. *Ciencias Biológicas*, 18, 65-76.

BAARDSETH, E. (1968). Investigaciones sobre algas marinas de importancia industrial. Centro Regional de la UNESCO para el fomento de la Ciencia en América Latina, Montevideo.

BERCHEZ, F. A. S., PEREIRA, R. T. L., MARQUES, H. L. (1989). A influência da predação na maricultura de *Hypnea musciformis* (Rhodophyta, Gigartinales). *Ínsula*, 19, 71-82.

BOLD, H.C., WYNNE, M.J., (1985). Introduction to the algae structure and reproduction, Second Ed., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ.

BURKHOLDER, P. R., BURKHOLDER, L. M., ALMODÓVAR, L. R. (1971). Nutritive constituents of some Caribbean marine algae. *Botanica Marina*, 14, 132-135.

CABRERA, R., ARECES, A., DÍAZ-LARREA, J., SAHU, S., CRUZ-AVIÑA, J., GARCÍA, L. (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.

CABRERA, R., ARECES, A.J., DÍAZ-LARREA, J., GARCÍA, L.N., CRUZ-AVIÑA, J.R. (2021). Influence of the macronutrients N, P and K on the agarophyte *Alsidium triquetrum* (S. G. Gmelin) Trevisan, during experimental culture. *American Journal of Plant Sciences* 12: 573-585.

CASTELAR, B., REIS, R.P., AZEREDO, F., MATTOS, P., BERARDINELLI, G. (2016). *Hypnea musciformis*: alternative or complement to the production of *Kappaphycus alvarezii* introduced in tropical countries? *Aquatic Research*, 47 (11), 3538–3550.

COTE, G. L., HANISAK, M. D. (1986). Production and properties of native agars from *Gracilaria tikvahiae* and other red algae. *Botanica Marina*, 24, 359-366.

DEBOER, J.A. (1981). The Marine Plant Resources and Their Aquaculture Potential in Bahamas. A Report to the Fisheries Training and Development Project (BHA/78/001), 49 p.

DÍAZ PIFERRER, M. (1961). Taxonomía, Ecología y Valor Nutricional de algas marinas cubanas: III Algas productoras de agar. Cuba, ICIT, *Serie de Estudios sobre Trabajos de Investigación* 17, 5-82.

Díaz-Piferrer, M. (1967). Los recursos marinos de Venezuela. Algas de importancia económica. *El Farol*, 29 (222), 18-22.

DÍAZ-PIFERRER, M., CABALLER DE PÉREZ, C. (1964). Taxonomía, ecología y valor nutricional de algas marinas de Puerto Rico. 1 Algas productoras de agar. Instituto de Biología Marina, C.A.A.M. Universidad de Puerto Rico. 10-126.



DÍAZ-TAPIA, P., MAGGS, CA., WEST, J.A., VERBRUGGEN, H. (2017). Analysis of chloroplast genomes and a supermatrix inform reclassification of the Rhodomelaceae (Rhodophyta). *Journal Phycology*, 53, 920–937.

DOTY, M.S. (1988). Podromus ad systematica Eucheumatoideorum: a tribe of commercial seaweeds related to *Eucheuma* (Solieriaceae, Gigartinales). En: Abbott I.A (ed) Taxonomy of economic seaweeds with reference to some Pacific and Caribbean species. California Sea Grant

DOTY, M.S., ÁLVAREZ V. B. (1975). Status, problems, advances and Economics of *Eucheuma* farms. *Marine Technology Society Journal*, 9 (4), 30-35

DUCKWORTH, M., YAPHE, W. (1971). The structure of agar. Part. I. Fractionation of complex mixture of polysaccharides. *Carbohydrate Research*, 16, 189-197.

ESTÉVEZ, M. L., OLIVAN, E., VELÁZQUEZ, L. (1985). Estudio químico de algas marinas cubanas. *Revista Cubana de Química*, 1(1), 87-93.

FAO [ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura] (1985). Year Book of fisheries statistic, 1984. Vol 58, Coleccion FAO: Statistic 65, 451 pp.

GARCÍA, PINEIRO, R. (1985). Extracción y caracterización del agar contenido en el alga roja cubana *Bryothamnion triquetrum*. Tesis en opción al título en Ciencias Químicas, Facultad de Química, Universidad de La Habana, 34 pp.

GARCÍA-SOTO, G., LÓPEZ-BAUTISTA, J. (2018). Taxonomic notes on the genus *Alsidium* C. Agardh, including the merging of *Bryothamnion* Kützinger (Rhodomelaceae). *Algae*, 33 (3), 215-229.

HANISAK, M.D. (1990). The use of *Gracilaria tikvahiae* (Gracilariales, Rhodophyta) as a model system to understand the nitrogen nutrition of cultured seaweeds. *Hydrobiologia*, 204, 79–87.

HAY, M. E., FENICAL, W. (1988). Marine plant-hervibore interations: The ecology of chemical defence. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 19, 11-145.

HURTADO, A.Q., CHENEY, D.P. (2003) Propagule production of *Eucheuma denticulatum* (Burman) Collins and Harvey by tissue culture. *Botanica Marina*, 46, 338–341

LAVROSKAYA, N. F. (1979). Cultivo de algas macrófitas, algas rojas (Rhodophyta) (15-21). En: Cultivo de las algas e invertebrados en haciendas marinas. Ed. Industria Alimenticia.

MAC FARLANC, C. I. ( 1968). The cultivation of seaweeds in Japan and its possible application in the Atlantic provinces of Canada. Canadian Department of Fisheries, Ind. Dev. Serv., Ottawa, 96 pp.

MANAM, V. K., SUMATH, G. (2024). *Recent Trends in Algae and Seaweeds*. Scieng publications. Tamilnadu, India.

MATHIESON, A.C., DAWES, C. (1986). Photosynthetic responses of florida seaweeds to light and temperature: a physiological survey. *Bulletin of Marine Science*, 38(3), 512-524.

NEISH, I.C. (1976). Role of mariculture in the Canadian seaweed industry. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 33, 1007–1014.

RAJU, P. V., THOMAS, P. G. (1971). Experimental field cultivation of *Gracilaria edulis* (Gmel.) Silva. *Botanica Marina*, 24, 71-75.

RINAUDO, M. (2002). Alginates and carrageenans. *Actual Chim* 11– 12, 35–38.

SANTELICES, B., DOTY, M.S. (1989). A review of *Gracilaria* farming. *Aquaculture.*, 78, 95-133.

SHANG, Y.C. (1976). Economic aspect of *Gracilaria* culture in Taiwan. *Aquaculture* 8, 1-7.

SIEGEL, S.(1972). *Diseño experimental no-paramétrico aplicado a las ciencias de la conducta*. Ed. Revolucionaria, La Habana.

SMITH, A. H., NICHOLS, K., MACLACHLAN, J. (1984). Cultivation of seamoss *Gracilaria* in St. Lucia, West Indies. *Hydrobiologia*, 116-117, 249-251.

SMITH, A., J. BOLTON. (1999). Organismic determinants and their effect on growth and regeneration in *Gracilaria gracilis*. *Journal Applied Phycology*, 11, 293-299.

SMITH, A.H. (1986). A guide to seamoss cultivation in the West Indies. Caribbean Conservation Association, Barbados, 20 pp.

SMITH, A.H., NICHOLS, K., MCLACHLAN, J. (1984). Cultivation of seamoss (*Gracilaria*) in St. Lucia, West Indies.. *Hydrobiologia* 116, 249–251.

SOKAL, R.R., ROHLF, F. J. (1981). Biometry. 2nd edition W.H. Freeman. New York. USA.

OLONI, F. (1954). Ficoloides de algas cubanas. Cuba, Centro de Investigaciones Pesqueras, *Contribución* 4, 1-14.

SOSA, E. H. (1965). Estudio de las agarófitas de Cuba I. Productividad de algunos bancos. Proyecto de cultivo. [Inédito].

SOSA, E. H. (1966). Estudio de las agarófitas de Cuba II. Informe Final. [Inédito].

SOSA, E. H. (1979). Posibilidades de utilización de las agarófitas y alginófitas de Cuba. Informe el Ministerio de Comercio Exterior. [Inédito].

SOSA, E. H. (1983). Posibilidades de utilización industrial de las agarófitas de Cuba. *Reporte de Investigación del Instituto de Botánica*, 4, 1-25.

TREVISAN, V.B.A. (1845). *Nomenclator algarum*, ou collection des noms imposées aux plantes de la famille des algues. pp. 1-80.

TRONO, G.C. Jr., GANZON-FORTES, E.T. (1989). Paguma sa Guso (*Eucheuma* Farming). Seaweed Information Center, Marine Science Institute, University of the Philippines, Quezon City, Philippines. 56 pp.

VALDÉS, O., CORTES, R., ARECES, A. J., DIAZ, M. (1988). *Estudio preliminar del agar obtenido a partir del alga roja cubana Bryothamnion seaforthii*. En: *Contribuciones, "Conferencia Internacional sobre Ciencia y Tecnología de Alimentos"*. Dic. 6-11, La Habana, Cuba

VALIENTE, O., FERNÁNDEZ, L. E., PÉREZ, R.M., MARQUINA, G., VÉLEZ, H. (1992). Agar polysaccharides from the red Seaweeds *Gracilaria domingensis* Sonder ex Kützting and *Gracilaria mammillaris* (Montagne) Howe. *Botánica Marina*, 35, 77-81.

## CUADROS

**Cuadro I.** Comportamiento bajo diversas condiciones experimentales de cinco variantes de fijación de biomasa. DS=distancia de siembra. BMS=biomasa media sembrada. P/IP= peso/intervalo de peso de los ejemplares utilizados, L=luz de la malla de sostén, E= estación climática, T= tiempo bajo cultivo, IMB= incremento medio de biomasa. (I= invierno, P= primavera, V= verano).

VARIANTE	TRATAMIENTO						RESULTADO	
	DS (cm)	BMS (g m <sup>-1</sup> )	P (g)	IP (g)	L (cm)	E	T (días)	IMB (gm -1 día -1)
A	20	70	-	0.9- 35.5	-	I	10	-2.37
	10	159,7	-	1.0- 66.1	-	I	32	-1.45
B	20	43,3	-	1.4- 33.4	-	I	29	-0,29
C	15	87	-	6,0- 20,1	-	P	53	+2.11
	15	557,7	-	71,5- 79,7	-	V	54	+3.10
D	30	83,3	25	-	6.0	I	30	-0.02
	30	166,7	50	-	6.0	I	30	-0.11
E	15	193,2	-	20,7- 30,5	6.0	V	45	+20.54
	15	366,3	-	44,0- 56,7	6.0	V	45	+15.85
	-	166,7	25	-	9.0	I	40	-2.78
	-	166,7	25	-	6.0	I	40	+0.05
	-	166,7	25	-	3.0	I	40	+0.72

**Cuadro II.** Rendimiento potencial y ciclo vegetativo de las variedades vegetales.

Cultivo	Período vegetativo	Rendimiento
	(meses)	(ton ha <sup>-1</sup> )
Papa	2.7 -3.3	48.0-52.0
<i>Solanum tuberosum</i>		
Boniato	5.5-6.0	56.0
<i>Ipomoea batatas</i>		
Yuca	10.0-12.0	20.0
<i>Manihot esculenta</i>		
Arroz	5.1	9.9
<i>Oriza sativa</i>		
Maíz	4.9	6.4
<i>Zea mays</i>		

**Cuadro III.** Productividad mínima rentable asumida para el cultivo de las principales fuentes de las dos importantes ficocoloides de origen marino.

Ficocoloide	Género	Tipo de producción (p.s)
Carragenina	<i>Chondrus</i>	30,0 g m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup>
	<i>Kappaphycus</i>	27.0 g m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup>
	<i>Gigartina</i>	20.0 g m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup>
	<i>Hypnea</i>	15.0 g m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup>
	<i>Iridaea</i>	25.0 g m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup>
	<i>Rhodomenia</i>	24.0 g m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup>
Agar	Gelidiales	17.0 g m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup>
	Gracilariales	13.0 g m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup>

**Cuadro IV.** Forma, dimensiones y tipos de cierre de cestas empleadas en el cultivo de *Alsidium triquetrum*.

CARACTERÍSTICAS	Experimentos	
	E-1	E-2
Geomorfología	CILÍNDRICO-CÓNICA	CILÍNDRICAS
Área de la base	1,0 m <sup>2</sup>	0,48 m <sup>2</sup>
Perímetro del área superior	3,55m	2,45 m
Perímetro del área inferior	3,55 m	2,45 m
Distancia entre aros	0,60 m	0,60 m
Altura total	0,75 m	0,60 m
Luz de la malla inferior	3 cm	3 cm
Luz de la malla lateral	3 cm	4 cm
Cierre superior	parcial	abierta

**Cuadro V.** Condiciones experimentales para el cultivo de *Alsidium triquetrum* en cestas suspendidas: Plantas enteras con disco basal (EPDB), Plantas enteras sin disco (EP), y Fragmentos de plantas (PF).

Experimento	Muestra		Estado anatómico del ejemplar y procedencia	Periodo experimental/ Lugar de estudio	Duración (Días)	Tiempo de cultivo	Peso inicial	Línea	Número de cestas
Cayo Puga, Casilda									
1	1	EP	Playa El Salado	25/1 - 16/2	22	22	0.5	A	25
		EP					0.5	B	3
		EPDB					0.5	B	3
		PF					0.5	B	4
1	2	EPDB	Material del experimento anterior	16/2- 9/3	21	43	0.5	A	7
		PF					0.5	A	6
		EP					0.5	B	10
		EP					1.0	B	10
2	3		Material del experimento anterior	9/3-30/3	21	64	1.0	A	18
							1.0	B	18
2	4		Material del experimento anterior	30/3-26/4	28	92	1.0	A	19
							0.5	B	21
3	5		Material del experimento anterior	26/4-16/5	22	22 114	0.5	A	9
							0.5	A	9
4	6		Playa Viriato	Ensenada El Macío, Casilda 13/7 3/8	21	21	1	A	11

5	7	Playa El Salado	Cayo Buba, Cárdenas 23/3-15/4	23	23	0.5	A	19
						0.5	B	19
						0.5	C	20
6	8	Material del experimento anterior	15/4-4/5	19	44	1.0	A	11
						1.0	B	13
6	9	Material del experimento anterior	4/5-24/5	22	64	1.0	A	15
						1.0	B	16
6	10	Material del experimento anterior	24/5-15/6	22	86	1.0	A	12
						1.0	B	13
6	11	Material del experimento anterior	15/6-7/7	22	108	1.0	A	14
						1.0	B	10
6	12	Material del experimento anterior	7/7-1/8	25	25 133	1.0	A & B	16
						1.0	A & B	12
6	13	Material del experimento anterior	1/8-29/8	29	54 162	1.0	A	9
						1.0	A	9

**Cuadro VI.** Valores de nutrientes (N y P total) obtenidos durante el muestreo de los tres sitios estudiados.

Muestra	Fecha	Concentración de nutrientes (μm L <sup>-1</sup> )	
		N	P
Cayo Puga. Bahía Casilda			
1	16/2	19.93	0.73
2	9/3	31.5	0.32
3	30/3	28.14	0.23
4	26/4	13.85	0.19
5	18/5	23.75	0.44
Ensenada El Macío. Bahía Casilda			
1	3/8	22.62	0.14
Cayo Buba. Cárdena			
1	15/4	19.05	0.05
2	4/5	31.98	0.22
3	24/5	26.61	0.19
4	15/6	35.68	1
5	7/7	23.61	0.06
6	1/8	15.31	0.17
7	29/8	9.04	0.3



**Cuadro VII.** Resultados experimentales del cultivo de *Alsidium triquetrum* en tres áreas seleccionadas: C., tasa de crecimiento, expresada como el aumento porcentual del peso húmedo diario (crecimiento promedio); C. máx., valor máximo de C; C. V., coeficiente de variación. (valores extremos resaltados)

Número	Muestras	C.	C. Max.	C. V. (%)	Número	Muestras	C.	C. Max.	C. V. (%)
Experimento					Experimento				
		<b>Cayo Puga, Casilda</b>					<b>Cayo Buba, Cárdenas</b>		
1	1	1.74	2.77	203.29	5	7	3.62	4.17	0.83
		1.18	1.53	25.31			3.03	4.12	31.83
		2.42	2.67	5.56			2.14	4.00	223.66
		1.24	2.71	88.15					
1	2	2.51	3.37	22.28	6	8	0.55	1.62	101.27
		2.54	3.18	25.69			0.53	0.87	50.61
		2.42	3.23	62.53					
		1.80	2.80	27.86					
2	3	1.45	3.11	60.34	6	9	1.53	2.19	22.81
		1.41	2.69	114.91			1.69	<b>4.86</b>	312.38
2	4	1.63	2.40	326.72	6	10	0.94	1.78	64.93
		1.41	2.82	404.51			0.66	2.25	261.88
3	5	3.18	3.73	16.33	6	11	1.03	1.60	54.86
		1.00	3.42	193.36			0.67	1.36	62.83
		<b>Ens. El Macío, Casilda</b>			6	12	3.03	3.81	73.74
4	6	1.94	<b>2.92</b>	28.32			1.24	3.65	69.88
					6	13	3.48	4.07	9.93
							0.53	1.42	275.07

## AUTORES

**RUBEN CABRERA** - Con una especialización en Ecología Marina por la Universidad de La Habana, ha desarrollado su investigación en osteología de peces, mamíferos y reptiles autóctonos en contextos arqueológicos. También tiene experiencia en ecología, sistemática de algas marinas. Ha trabajado en el cultivo de algas marinas en la costa atlántica y pacífica de Costa Rica. <https://orcid.org/0000-0003-0089-1125>

**JHOANA DÍAZ-LARREA** - Licenciada en Biología y Máster en Biología Marina por la Universidad de La Habana, Cuba. Doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad Autónoma Metropolitana, México. Profesor-Investigador, Titular "C". T.C. del Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Perfil PRODEP dentro del Programa para el Desarrollo Profesional Docente, para el Tipo Superior. Líneas de Investigación que desarrolla: Biología molecular. Genética. Sistemática filogenética. Biogeografía. Ecología. Evolución. Manejo y Conservación de recursos biológicos: tortugas, cactáceas, murciélagos, algas, hongos y bacterias. Producción de alimentos para organismos. Reproducción de organismos. Sanidad Acuicola. Fisiología de organismos acuáticos. Acuaponia. Biorremediación: humedales. Huertos urbanos. Producción de insumos y biofertilizantes. Desarrollo humano e Impacto Social en comunidades: Entorno Social de ambientes acuáticos, Educación Ambiental. <https://orcid.org/0000-0003-4290-0835>.

**ANDRÉS SÁNCHEZ-MORALES** - Biólogo por parte de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, México y Master en formación por la Universidad Internacional de Valencia, España. Profesor-Investigador Asociado "B" Tiempo Completo del Departamento de Biología, en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Líneas de investigación que trabaja: Biosistemática y Ecología de Helechos, Licofitas y Hongos, Diversidad de Plantas Acuáticas, Hongos Micorrízicos de importancia agrícola, Ecología de plantas riparias y Anatomía y usos de Helechos con importancia médica y de conservación biológica.

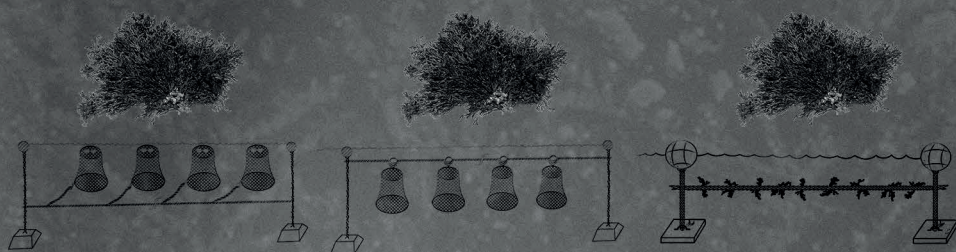
**MÓNICA CRISTINA RODRÍGUEZ PALACIO** - Licenciatura en Hidrobiología y Maestría en Biología Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa UAMI. Doctorado en Medio Ambiente. Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller". Universidad Autónoma de Tamaulipas UAT. Profesora-Investigadora, Titular "C" de tiempo completo en el Departamento de Hidrobiología de la UAM-I. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Perfil PRODEP. Línea de investigación que desarrolla. Ficología aplicada, cultivos de algas usos potenciales, biotecnología acuícola. <https://orcid.org/0000-0001-5643-958X>.

**ROCÍO ZÁRATE-HERNÁNDEZ** - Licenciada y Maestra en Biología y Doctora en Ciencias Biológicas y de la Salud por la Universidad Autónoma Metropolitana. Profesor Investigador, Titular "C", T.C. del Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana. Líneas de Investigación, Biología y Ecología de Peces y Manejo de datos biológicos.

**JUAN RICARDO CRUZ AVIÑA** - Profesor-Investigador de TC, Hidrobiólogo por (UAMI), Master y Dr. en Ciencias Ambientales (ICUAP-BUAP), en el área de Medio Ambiente y Salud Pública, especialista en organismos nativos (Peces, Anfibios y Reptiles). Jefe del Laboratorio de Medicina de la Conservación, Departamento de Fauna Silvestre, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Presidente de la Academia de Acuacultura, Miembro del CA Producción Animal (BUAP-CAPA 11), colaborador de CA Patogenicidad Bacteriana (BUAP-CA 309), Eslabón Académico del Sistema Producto Trucha-Puebla (2011-2016). Premio al Mérito Hídrico por (CONAGUA) Miembro del SNI (CONAHCYT), Padrón de Investigadores CONCYTEP y VIEP y Perfil deseable PROMEP. Colaborador de las Revistas Ciencia Pesquera, Hidrobiológica, Mix-Tec, RLAC, MVZ Córdoba, Nexo, Topofilia y Revista Latinoamericana de Herpetología, Acta Biológica Colombiana. Otros temas de interés son el Desarrollo Sustentable y la Educación Ambiental para la Conservación de la Biodiversidad Nativa en México. <https://orcid.org/0000-0002-0905-9370>.

**ARSENIO J. ARECES** - Es biólogo marino, máster (eutrofización) y doctor en Ciencias Biológicas (maricultura de agarófitas) por la Universidad de La Habana. De 1970 a 2012, trabajó como líder científico de varios departamentos del Instituto de Oceanología, anteriormente perteneciente a la Academia de Ciencias de Cuba y posteriormente al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, en las áreas de ecología marina, hidroquímica y ficología aplicada. Desde 2017, se desempeña como investigador principal en el Instituto de Geografía Tropical de Cuba en las áreas de gestión integrada de zonas costeras, planificación espacial y análisis del paisaje marino y costero. Recibió formación académica en Suecia y Filipinas, dirigió varias tesis doctorales y de maestría, y actuó como colaborador de investigación, asesor científico o profesor en México, Venezuela, Estados Unidos y Brasil. Ha publicado libros y más de 100 artículos. <https://orcid.org/0000-0001-9200-6271>

# FACTIBILIDAD DEL MARICULTIVO DE *Alsidium triquetrum* (Ceramiales, Rodomelaceae)



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



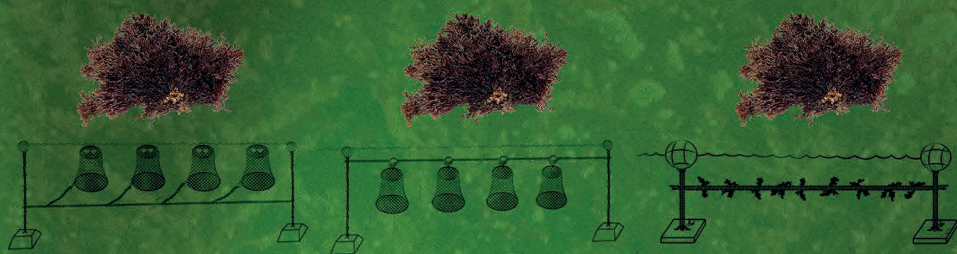
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



# FACTIBILIDAD DEL MARICULTIVO DE *Alsidium triquetrum* (Ceramiales, Rodomelaceae)



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)