

ENSAYOS DE CULTIVO EN MEDIO NATURAL DE LA MACROALGA *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamoroux EN LAS AREAS DE TAGANGA Y PUERTO LUZ (SANTA MARTA).

JULIAN CAMILO MONTAÑA FERNÁNDEZ

**Trabajo de grado para
optar al título de Biólogo Marino**

Director

**OLGA CAMACHO HADAD
Biólogo Marino**

**UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE BIOLOGÍA MARINA
SANTA MARTA
2006**

ENSAYOS DE CULTIVO EN MEDIO NATURAL DE LA MACROALGA *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamoroux EN LAS AREAS DE TAGANGA Y PUERTO LUZ (SANTA MARTA).

JULIAN CAMILO MONTAÑA FERNÁNDEZ

**UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE BIOLOGÍA MARINA
SANTA MARTA
2006**

AGRADECIMENTOS

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron con el desarrollo de este trabajo investigativo: Gracias!

A la Universidad Jorge Tadeo Lozano y los docentes de la Facultad de Biología Marina, por brindarme las herramientas para crecer cada día como investigador y profesional.

Al personal de planta de la sede de Santa Marta (biblioteca y laboratorios) por el apoyo otorgado durante la realización de este trabajo de grado.

A toda mi familia, en especial a mi papa, mi mama y mi hermano que me ayudaron desde el comienzo de mis estudios, de quienes siempre recibí el mayor de los afectos y me dieron su apoyo económico y moral.

A mis amigos de apartamento, trabajo y parranda: Jaime y Christian por compartir conmigo alegrías y tristezas, por su apoyo incondicional y entrega en este círculo de amistad tan importante que construimos en estos años y por estar presentes siempre que los necesité.

A Anthony por brindarme su amistad y animarme con sus voces de aliento, alegría y colaboración a lo largo de esta investigación.

A Juan Pablo, Sandra, Martha, Angélica y demás amigos por su ayuda y momentos únicos compartidos.

A Dianita por su apoyo incondicional al final de este trabajo, por llenarme de ánimo, seguridad y confianza, por escucharme y ayudarme con su cariño y entrega.

A Oscar Delgadillo por su asesoría y colaboración en la elaboración del anteproyecto.

Al Dr. Flavio Augusto Berchez por la información suministrada y colaboración en la elaboración del sistema de cultivo implementado.

A Gladis Rozo por la colaboración e información suministrada con relación a los resultados obtenidos sobre la carragenina.

A Gabriel Jaramillo por su interés y apoyo durante el desarrollo de este trabajo de grado así como su colaboración en el análisis y obtención de la carragenina, en conjunto con la empresa Ficocoloides de Colombia E. U..

También quiero dar el mejor de los agradecimientos a Olga Camacho, mi directora, por su gran dedicación en el desarrollo de este trabajo, por su apoyo incondicional para cumplir con mis objetivos y por su amistad.

Resumen

Con el objeto de proporcionar información sobre cultivos macroalgales en Colombia y en búsqueda de nuevas opciones de maricultura en el país, se realizaron por primera vez ensayos de cultivo en medio natural de *Hypnea musciformis*, a partir de un método alternativo de bolsas unidas a líneas suspendidas en el mar. Esta macroalga, nativa de las costas colombianas, se caracteriza por ser productora de carragenina, ficocoloide de gran uso industrial a nivel mundial. Este estudio se llevó a cabo entre Febrero y Junio de 2006 en dos localidades del área de Santa Marta: Taganga y Puerto Luz (Rodadero). Las algas se colocaron en bolsas de polipropileno adheridas cada 30 cm a un cabo paralelo a la superficie del mar ($n = 60$), a 0,5 metros de profundidad. Dentro del trabajo se consideraron como factores los dos lugares de desarrollo de los cultivos, dos épocas climáticas (seca mayor – lluviosa menor) y dos tiempos de cosecha (semanal – quincenal), los cuales mostraron ser influyentes en las tasas de crecimiento diario (TCD) y la producción de material húmedo por área. Se observó en promedio una TCD de 3,39% ($\pm 6,35$) y una producción de $0,044 \text{ g.m}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ ($\pm 0,058$), con valores individuales de hasta 22,17% y $0,18 \text{ g.m}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ respectivamente. Los mejores resultados se obtuvieron en el área de Taganga en los ensayos desarrollados en la época seca con cosechas semanales. Aunque ninguno de los parámetros fisicoquímicos medidos (transparencia, tasa sedimentación, temperatura y salinidad) presentó correlación estadísticamente significativa con el crecimiento de *H. musciformis*, se observó una tendencia de mejores resultados ante bajas tasas de sedimentación ($0,56 \pm 0,24 \text{ g.m}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) y mayor transparencia del agua ($7,44 \pm 2,20 \text{ m}$), condiciones correspondientes a la época seca mayor en la región y mejor representadas en Taganga. Así mismo, a partir de todo el estudio se obtuvo la tasa de conversión peso seco/peso húmedo que fue del 11% y con el material algal seco obtenido de la producción de los ensayos de cultivo, se obtuvo un rendimiento de carragenina entre el 44 y el 48%. Adicionalmente, aunque no se cuantificó numéricamente ni se pudo relacionar con los resultados obtenidos en el cultivo, se registraron los estados reproductivos de las algas sembradas, encontrándose individuos gametofitos, carposporofitos y tetrasporofitos. Los materiales utilizados en los cultivos mostraron ser adecuados al no requerir cambio o mejora durante los meses del estudio, sin embargo, fue necesario limpiarlos de organismos como algas filamentosas, cirripideos e hidroides. También, se registró la presencia de peces juveniles de las familias Carangidae, Singnathidae, Aulostomidae, Monacanthidae y Ostracidae cerca de las bolsas con las algas. Considerando otros estudios similares desarrollados con esta macroalga carragenofita, los buenos resultados obtenidos en términos de TCD y conversión de carragenina en esta investigación, sugieren que los cultivos de *Hypnea musciformis* en la región de Santa Marta podrían ser factibles, con miras en una aplicación comercial, sin embargo, la baja producción obtenida manifiesta la necesidad de continuar con ensayos experimentales que permitan conocer mejor el comportamiento de esta especie en diferentes sistemas de cultivo para obtener mayor biomasa en las cosechas. La realización de este tipo de estudios en Colombia generará las metodologías adecuadas para desarrollar técnicas eficientes de cultivo con especies macroalgales nativas y así, a futuro, suplir la demanda nacional de carragenina (y otros ficocoloides) e igualmente convertirse en una alternativa de ingreso económico a comunidades costeras.

Palabras Clave: Macroalga, *Hypnea musciformis*, Cultivo, Crecimiento, Producción, Carragenina.

Abstract

For give information about macroalgal cultures in Colombia and for search new options of mariculture in the country, it was made essays of culture of *Hypnea musciformis* in natural systems using a method of little bags jointed to long-lines suspended in the sea. This macroalgae is a native species of the Colombian coasts and produce carrageenan that is a phycocolloid of industrial used in the world. This study was made between February and June of 2006 in two places of Santa Marta: Taganga and Puerto Luz (Rodadero). The algae was putting on little bags of polypropylene jointed every 30 cm to a rope ($n = 60$) in 0,5 m deep. In this work it was considered like factors the two places where the essays of culture was made, the two climatic season (big dry – little rainy) and two times of harvest (weekly – fortnightly). These tree factors were influential in the diary growth rate (DGR) and the production of wet material per area. In average the DGR was 3,39% ($\pm 6,35$) and the production was $0,044 \text{ g.m}^{-1}.\text{day}^{-1}$ ($\pm 0,058$) with individual maximum values of 22,17% and $0,18 \text{ g.m}^{-1}.\text{day}^{-1}$. The best results were obtained in Taganga in the essays during the dry season with weekly yields. Not any of the physicoquemistry parameters measures (transparency, sedimentation rate, temperature and salinity) had statistics significance correlation with the growth of *H. musciformis*, however it was obtained a tendency of better results during the big dry season where there are low sedimentation rates ($0,56 \pm 0,24 \text{ g.m}^{-1}.\text{day}^{-1}$) and high transparency of water ($7,44 \pm 2,20 \text{ m}$) that are conditions better represented in Taganga. Taking into account all the study it was obtained the dry weight/wet weight conversion rate that was 11% and with the dry algal material obtained of the productions of the cultures was calculated the carrageenan yield that was between 44 and 48%. In addition it was observed the different reproductive stages of the algae using to sow, founding gametophyte, carposporophyte and tetrasporophyte plants that were not quantify neither related with the results of the essays of culture. The materials used in the cultures were appropriate and didn't require of changes during the essays, but it was necessary clean the structures of organisms like filamentose algae, barnacles and hydroids. Also it was observed close to the algae, animals like juvenile fishes of the families Carangidae, Singnathidae, Aulostomidae, Monacanthidae and Ostracidae. Consider the good results obtained in the DGR and carrageenan yield of this investigation and compared that with similar studies developed using these carragenophyte macroalgae, it can be possible develop cultures of *Hypnea musciformis* in Santa Marta taking into account an commercial application, however, there were very low productions that reveal the importance of continue doing these experimental essays that allow know better the behaviour of these species in different culture systems for obtain bigger biomass in the harvest. The develop of these kind of studies in Colombia will generate the adequate methodologies for make efficient technics of culture with native macroalgal species, and then, respond to the national demand of carrageenan (and others phycocolloids) and make that as an alternative of economic ingress to the coast communities.

Key words: Macroalgae, *Hypnea musciformis*, Culture, Growth, Production, Carrageenan.

CONTENIDO

	pág.
1. INTRODUCCIÓN JUSTIFICADA	1
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	4
2.1. GENERALIDADES DEL ALGA	4
2.1.1 Ubicación taxonómica	4
2.1.2. Organización vegetativa	5
2.1.3. Estructura celular	5
2.1.4. Reproducción	6
2.1.5. Hábitat	7
2.1.6. Importancia económica	7
2.2. USOS COMERCIALES DE LAS ALGAS	7
2.2.1. Generalidades de la carragenina	8
2.2.2. Composición química de la carragenina	9
2.2.3. Usos de la carragenina	11
2.2.4. Cultivo y comercialización de la industria del carragenano	12
2.3. ANTECEDENTES	14
3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
5. HIPÓTESIS	20
6. METODOLOGÍA	21
6.1. AREA DE ESTUDIO	21
6.1.1. Generalidades	21
6.1.2. Puerto Luz	22
6.1.3. Taganga	23
6.2. FASE DE CAMPO	24
6.2.1. Selección de las áreas de estudio	24
6.2.2. Construcción de los módulos de cultivo	24
6.2.3. Colecta y transporte del material de siembra	25
6.2.4. Siembra y densidad del cultivo	25
6.2.5. Mantenimiento de los módulos	26
6.2.5.1. <i>Tareas operativas de conservación</i>	26
6.2.5.2. <i>El control fitotécnico del ciclo productivo</i>	26
6.2.6. Cosecha de las algas	26
6.2.6.1. <i>Método destructivo</i>	27
6.2.6.2. <i>Frecuencia y tipo de muestreo</i>	27
6.2.7. Parámetros ambientales	27

6.2.7.1. <i>Coeficiente de extinción de la luz</i>	27
6.2.7.2. <i>Temperatura</i>	27
6.2.7.3. <i>Sedimentación</i>	28
6.2.7.4. <i>Muestras de agua para la salinidad</i>	28
6.3. FASE DE LABORATORIO	28
6.3.1. Biomasa húmeda (peso húmedo)	28
6.3.2. Biomasa seca	28
6.3.3. Parámetros ambientales	29
6.3.3.1. <i>Sedimentación</i>	29
6.3.3.2. <i>Salinidad</i>	29
6.3.4. Observación de estados reproductivos	29
6.3.5. Extracción de carragenina	29
6.4. FASE DE GABINETE	31
6.4.1. Crecimiento	31
6.4.2. Producción	31
6.4.3. Relación Peso seco y Peso húmedo	32
6.4.4. Rendimiento de la carragenina	32
6.4.5. Parámetros fisicoquímicos	32
6.4.5.1. <i>Coeficiente de extinción de la luz</i> (κ)	32
6.4.5.2. <i>Sedimentación</i>	33
6.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	33
6.6. VARIABLES E INDICADORES	34
7. RESULTADOS	35
7.1. MANTENIMIENTO DEL CULTIVO	35
7.2. RESULTADOS GENERALES (PRODUCCIÓN, TCD Y CONVERSIÓN PESO HÚMEDO / PESO SECO)	36
7.3. CULTIVO EN TAGANGA	37
7.4. CULTIVO EN PUERTO LUZ	39
7.5. FACTORES ABIÓTICOS	40
7.6. FACTORES BIÓTICOS	43
7.7. ESTADOS REPRODUCTIVOS	44
7.8. CARRAGENINA	46

8. DISCUSIÓN	47
8.1. MANTENIMIENTO DE LOS MONTAJES DE CULTIVO	47
8.2. FACTORES ABIÓTICOS	48
8.3. COMPARACIÓN ENTRE LUGARES Y RELACIÓN CON FACTORES ABIÓTICOS	48
8.4. COMPARACIÓN ENTRE ÉPOCAS Y RELACIÓN CON FACTORES ABIÓTICOS	50
8.5. COMPARACIÓN ENTRE LOS PERIODOS DE COSECHA	53
8.6. COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS	54
8.7. FACTORES BIÓTICOS	57
8.8. ESTRUCTURAS REPRODUCTIVAS	58
8.9. CARRAGENINA	59
9. CONCLUSIONES	62
10. RECOMENDACIONES	64
11. BIBLIOGRAFÍA	66

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Forma estructural del alga <i>Hypnea musciformis</i>	5
Figura 2. Ilustración del ciclo trifásico de las algas rojas	6
Figura 3. Esquema de la Carragenina tipo <i>Kappa</i>	10
Figura 4. Esquema de la Carragenina tipo <i>Iota</i>	10
Figura 5. Esquema de la Carragenina tipo <i>Lambda</i>	10
Figura 6. Zona de estudio indicando las áreas de Puerto Luz y Taganga, Caribe colombiano	22
Figura 7. Fotos de la ensenada de Gaira (sector Rodadero)	23
Figura 8. Fotos de la bahía de Taganga	23
Figura 9. Diagrama del sistema de cultivo de líneas superficiales	25
Figura 10. Foto ilustrativa de las tareas operativas para la conservación del mismo ..	26
Figura 11. Diagrama del proceso de extracción de la carragenina a partir de agua alcalina usado en el alga <i>Hypnea musciformis</i>	30
Figura 12. Fotos tomadas del alga <i>Hypnea musciformis</i> antes y después de los ensayos de cultivo	35
Figura 13. Tasa de crecimiento diario (TDC) promedio del alga para los ensayos de cultivo desarrollados en el área de Taganga	38
Figura 14. Producción obtenida en los diferentes ensayos desarrollados en el área de Taganga	38
Figura 15. Tasa de crecimiento diario (TCD) promedio del alga para los ensayos de cultivo desarrollados en el área de Puerto Luz	39
Figura 16. Cosechas obtenidas en los diferentes ensayos desarrollados en el área de Puerto Luz	40
Figura 17. Comportamiento de la temperatura (promedios mensuales) a lo largo del estudio	41
Figura 18. Comportamiento de la salinidad (promedios mensuales) a lo largo del estudio	41

Figura 19. Fotos del cultivo de <i>Hypnea musciformis</i> indicando algunos factores bióticos influyentes	44
Figura 20. Fotos de las ramas cistocarpicas y tetrasporangiales de <i>Hypnea musciformis</i> en aumento de 32X al estereoscopio	45
Figura 21. Foto de las tetrasporas de <i>Hypnea musciformis</i> en aumento de 100X al microscopio	45

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Variables consideradas en el estudio	34
Tabla 2. Valores promedio de las producciones por línea de cultivo, para los diferentes ensayos realizados	36
Tabla 3. Valores promedio de las tasas de crecimiento diario (TCD) para los diferentes ensayos de cultivo realizados	36
Tabla 4. Mediciones de Transparencia y el correspondiente cálculo de extinción de luz para las dos zonas trabajadas	42
Tabla 5. Valores de la tasa de sedimentación para cada lugar	43
Tabla 6. Peso seco de las cosechas realizadas de <i>Hypnea musciformis</i> en cada muestreo incluyendo el análisis de la carragenina extraída	46



1. INTRODUCCIÓN JUSTIFICADA

La maricultura en Colombia y en el Caribe en general es un tema relativamente reciente, el cual se concentra en la producción de algunos peces de interés comercial, bivalvos y en mayor parte camarón marino, debido al amplio mercado que maneja, así como los precios y facilidad de exportación. Lo anterior ha ocasionado que la mayoría de las investigaciones y desarrollo de tecnologías concernientes al tema de cultivos marinos no estén enfocados al estudio de otro tipo de organismos como las macroalgas, considerándose como uno de los temas menos documentados en Colombia (McHugh, 2002; Smith, 1998; Bula-Meyer, 1989a).

Las macroalgas constituyen una de las más ricas y pródigas fuentes de recursos naturales existiendo cerca de 221 especies en el mundo que son utilizadas, 145 para alimento y 101 para la producción de ficocoloides (Zemke-White & Ohno, 1999; Panizzo, 1983). Estas algas forman parte del potencial económico biológico susceptible de ser explotado, no solo por medio de una cosecha directa del ambiente, sino a partir de cultivos consistentes en el medio natural que podrían convertirse en una alternativa segura de suministro de materia prima para la industria (ficocoloides, textiles, cosméticos, fármacos, etc.), que exige una alta demanda de macroalgas (Zemke-White & Ohno, 1999; Acevedo, 1967). Y si bien, este recurso sigue teniendo importancia en países como China y Japón, usado como elemento suplementario del alimento, en las últimas décadas la producción de macroalgas se dirige hacia el desarrollo de ficocoloides como el agar, algína y carragenano, este último presente en el género *Hypnea* (Bula-Meyer, 1989a; Panizzo, 1983).

A nivel mundial, China es el principal productor de algas marinas comestibles con aproximadamente cinco millones de toneladas, donde la mayor parte de esta cantidad proviene de cultivos de *Laminaria japonica*. Así mismo, la República de Corea ocupa el segundo lugar como productor de algas para consumo humano con *Undaria pinnatifida* y Japón el tercero con especies del género *Porphyra*. Además de estos cultivos con fines



alimenticios directos (sin proceso industrial), se encuentran los de producción de ficocoloides, que en el caso de la carragenina, la industria ha crecido rápidamente debido a la disponibilidad de un buen número de algas rojas que contienen este compuesto (e.g. especies de *Kappaphycus* spp. y *Eucheuma* spp.) que han sido cultivadas con éxito en países como Filipinas, Cuba, Panamá, Indonesia y Zanzíbar. En la actualidad, la mayor parte de las algas utilizadas para producir carragenina son cultivadas, aunque sigue existiendo una pequeña demanda de poblaciones naturales de *Chondrus crispus* y de *Hypnea musciformis* (McHugh, 2003; 2002); esta última usada como alimento y cosechada comercialmente en Senegal y Brasil (Graham & Wilcox, 2000; McHugh, 2002).

Debido al elevado potencial económico que poseen, durante los últimos 50 años, se ha incrementado constantemente la demanda de cosecha y comercialización de las algas marinas, generándose una sobre utilización de los stocks naturales (Alveal, 1995), razón por la cual se han fortalecido las investigaciones referentes al ciclo vital de las algas, con miras a industrias dedicadas a su cultivo que actualmente cubren más del 90% de la demanda del mercado y que constituyen una producción sostenible para comunidades costeras (McHugh, 2002 y 2003; Santelices & Doty, 1989; Accorinti, 1987).

Aunque el Atlántico colombiano presenta una gran diversidad de algas bentónicas (Díaz-Pulido & Díaz-Ruiz, 2003), no presenta grandes praderas naturales, siendo esto una limitante para actividades comerciales y por lo tanto necesario el desarrollo de cultivos marinos (Bula-Meyer, 1989b). Sin embargo, en el país no existen experiencias de cultivo que lleven a un conocimiento claro sobre el tema, a excepción de los ensayos desarrollados por Corpoguajira e Invemar con la especie agarófita *Hydropuntia cornea* (Delgadillo *et al.*, 2005), Rincones & Gallo (2004) en la Guajira y los ensayos realizados por Bula-Meyer (1989b) con la carragenófita *Grateloupia filicina* en el Rodadero (Santa Marta). De tener un enfoque comercial, los cultivos macroalgales proporcionarían otra fuente de trabajo e ingresos a las comunidades costeras en el Caribe colombiano, siendo una alternativa a las necesidades que allí se presentan ante la disminución de otros recursos pesqueros.



Sabiendo que las macroalgas son un recurso natural inexplorado en nuestro país, de gran importancia económica y ante la ausencia de información sobre el tema de cultivos de este recurso, surge la presente investigación sobre ensayos preliminares del cultivo en el medio natural de la macroalga *Hypnea musciformis*, que presenta una alta aplicabilidad comercial y podría ser explotada en Colombia (Bula-Meyer, 1989b; Bula-Meyer, 1985; Panizzo, 1983; Márquez, 1982a; Gaviria, 1977).

Esta investigación se ubica en la evaluación de recursos marinos y tiene como finalidad proporcionar información sobre el potencial económico y rendimiento sostenible de macroalgas como *Hypnea musciformis* con posibilidades de explotación comercial, partiendo de la previa identificación y desarrollo de métodos para la explotación sostenible, uso y manejo de este recurso marino aprovechable (COLCIENCIAS, 1999). Así mismo, este documento hace un aporte a la falta de información existente en el tema de cultivos de macroalgas, abarcando dos áreas temáticas del convenio Yakarta: (1) el uso sostenible de los recursos vivos marinos y costeros (RVMC) y (2) la maricultura, considerada como una opción que provee el desarrollo económico de comunidades locales y permite el avance de técnicas de cultivo en especies locales, minimizando impactos adversos (INVEMAR, 2000).

Este estudio se desarrolló como trabajo de grado, prerequisite para obtener el título de Biólogo Marino de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Se contó con el apoyo y colaboración de esta institución y la Fundación Sila Kangama y se considera como un aporte científico que complementa otros estudios que se han desarrollado en los últimos meses en el país, como la evaluación de calidad y rendimiento de la carragenina en esta especie (Rozo, 2006) y el montaje de una planta de procesamiento de este ficocoloide en Sogamoso (Chacón, 2005).



2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1. GENERALIDADES DEL ALGA

Las algas forman un conjunto de organismos muy diverso, de estructura y talla variadas. Algunas algas unicelulares no sobrepasan los 2-3 μ m de diámetro (*Cryptomonas*) mientras que otras de estructura más compleja, como el género *Macrocystis* de aguas templadas, pueden sobrepasar 30-50 m de altura. Aunque son abundantes en los medios acuáticos (mares y aguas dulces), pueden vivir en condiciones ecológicas muy diversas y así mismo, tienen un alto grado de complejidad en su estructura y morfología (Dawson, 1966). Debido a los requerimientos de luz y disponibilidad de sustrato, junto con los altos niveles de nutrientes que vienen del continente, estos organismos se asientan en los sustratos someros y presentan una distribución limitada que abarca áreas costeras desde la zona intermareal a la submareal, aproximadamente hasta los 250 m de profundidad (Gómez, 1999; Dawes, 1986).

Las macroalgas están distribuidas en tres divisiones: Phaeophytas, Chlorophytas y Rhodophytas, ubicándose en esta última *Hypnea musciformis*, la cual presenta en sus cromatóforos dos pigmentos ficocromoprotéicos (ficocianina y ficoeritrina) que ocasionan el color rojo predominante en el talo del alga (Sze, 1998; Acleto, 1968).

2.1.1 Ubicación taxonómica:

Según Wynne (2005):

División: Rhodophyta

Clase: Rhodophyceae

Subclase: Florideophycidae

Orden: Gigartinales

Familia: Hypneaceae

Género: *Hypnea*

Especie: *Hypnea musciformis*



2.1.2. Organización vegetativa: es una especie pluricelular, donde el talo tiene una construcción filamentosa, sin embargo no es visible en su desarrollo posterior debido a que las células se transforman en un tejido parenquimatoso o pseudoparenquimatoso (Graham & Wilcox, 2000; Acleto, 1968). El talo es altamente ramificado y comúnmente presenta estructuras distintivas a manera de ganchos en la parte final de las ramas (Figura 1).



Figura 1. Forma estructural del alga *Hypnea musciformis*.

2.1.3. Estructura celular: Según Acleto (1968) se pueden diferenciar varios componentes como:

- **Pared celular:** se reconocen dos capas; una interna adherida al citoplasma, constituida principalmente por celulosa y una externa de naturaleza pectínica y con polifosfatos estéricos. Esta última capa es parcial o totalmente soluble en agua hervida y la solución que se obtiene es gelosa con un producto de precipitación que es la carragenina.
- **Citoplasma:** tiene un alto grado de viscosidad y frecuentemente está adherido a la cara interna de la pared celular.
- **Cloroplastos:** se presenta uno de gran tamaño o varios de menor tamaño, ubicados en el citoplasma y encargados de realizar la fotosíntesis.
- **Núcleo:** las células presentan un solo núcleo de tamaño variable.



2.1.4. Reproducción: este es el carácter más relevante de esta alga, debido al tipo de reproducción sexual que presenta junto con las demás algas rojas. Los gametos carecen de estructuras móviles, de esta forma el gameto masculino se une al gameto femenino de manera pasiva valiéndose del medio acuático. Esta especie presenta una alternancia trifásica de generaciones (Figura 2), donde el tetrasporofito y gametofito son generalmente isomórficos (Acleto, 1968). Las estructuras y elementos reproductivos tanto sexual como asexual presentes en esta alga son particularmente variados:

- Asexual: produce esporas no flageladas.
- Sexual: el elemento femenino denominado carpogonio, se localiza en el extremo distal de una rama especial denominada rama carpogonial. Este posee una estructura receptiva que es el tricógino, el cual se reabsorbe después de la fertilización. El órgano masculino es el espermatangio y produce un solo espermacio, no móvil, el cual se traslada pasivamente hacia el tricógino para fecundar al carpogonio.

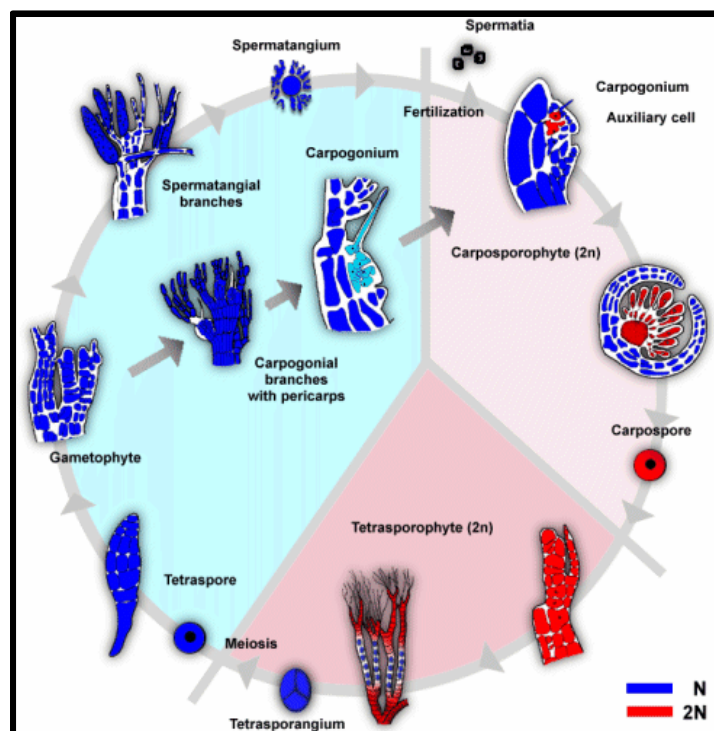


Figura 2. Ilustración del ciclo trifásico de las algas rojas. Tomado de Keats (2002).



2.1.5. Hábitat: es un alga sésil exclusivamente marina, ubicada en zonas costeras predominantemente intermareales. Se puede adherir a superficies rugosas y también se considera como epífita sobre otras algas de mayor tamaño. Es uno de los géneros de algas más distribuidos en aguas tropicales y subtropicales alrededor del mundo y se extiende a regiones templadas incluyendo Japón, el Mediterráneo, Texas, Carolina del Norte y California (Graham & Wilcox, 2000; Acleto, 1968). *H. musciformis* es un alga que se encuentra en varios sustratos como epífita o flotando libremente (Taylor, 1960) y además tolera un amplio rango de temperaturas, salinidades e intensidades lumínicas (Dawes *et al.*, 1976).

2.1.6. Importancia económica: tiene uso industrial, ya que a partir de esta se puede obtener un producto comercial de mucho valor como es la carragenina, polisacárido apetecido por el mercado nacional e internacional. Debido a su tolerancia y contenido de carragenina es una de las algas de interés comercial y candidata para cultivos y además posee sustancias medicinales y puede ser usada también como alimento (Reis & Yoneshigue-Valentin, 2000; Cervigón *et al.*, 1993).

2.2. USOS COMERCIALES DE LAS ALGAS

Las algas poseen un doble valor unitario que abarca la bioeconomía marina y la economía del hombre debido a las múltiples aplicaciones que presentan, recibiendo la mayor atención los productos químicos naturales derivados de estas (Duran *et al.*, 1999). Existen 16.000 especies de importancia para el hombre, sin embargo solo 2.500 especies bentónicas costeras se han estudiado y muy pocas son las que no prestarían alguna utilidad (Acevedo, 1967). En los últimos años han sido utilizadas y ensayadas de 200 a 300 especies de algas rojas para su cultivo, de las cuales han sido factibles 60 a 80 especies. Pese a esto, solo se cultivan en el presente 8 a 10 géneros y 15 a 20 especies de macroalgas (Santelices, 2005).

El uso actual de las algas abarca un gran campo de acción y la importancia específica de cada una de estas radica en su composición química particular, que está determinada en parte por las condiciones del medio en el que se encuentra (ubicación geográfica,



nutrientes, condiciones fisicoquímicas, variaciones estacionales), la edad y tiempo transcurrido entre la recolección y el análisis (Sze, 1998; Acevedo, 1967; Taylor, 1960).

Las macroalgas son uno de los recursos marinos que ha adquirido una particular importancia y atención por países desarrollados durante la última década, principalmente por su incremento en la demanda como materia prima. Son usadas no solo en la industria de los coloides debido a polisacáridos importantes desde el punto de vista industrial como agar, ácido alginico (=alginato) y carragenano (Rincones, 1989), sino en la farmacéutica, alimenticia, producción de textiles y cosméticos, e incluso en la agricultura, constituyéndose como un material económicamente rentable, producto de la biotecnología (Melgarejo *et al.*, 2002; Zemke-White & Ohno, 1999; Bula-Meyer, 1989a; Acevedo, 1967).

Dentro de las macroalgas, el principal uso que tienen las algas pardas (Phaeophyceae) es como alimento y como materia prima para extracción del hidrocoloide alginato, mientras que las algas rojas son usadas como fuente de alimento y materia prima para la producción de agar y carragenina, enfocándose en este último hidrocoloide el uso específico de *Hypnea musciformis* (McHugh, 2003).

2.2.1. Generalidades de la carragenina: los carragenanos son coloides hidrofílicos de gran importancia comercial, que se presentan en numerosas especies de algas rojas y a su vez cumplen una función estructural análoga a la de la celulosa en las plantas. Dentro de las algas que han sido usadas para la producción de carragenina se encuentran *Chondrus crispus*, *C. ocellatus*, *Gigartina stellata*, *G. acicularis*, *G. pistillata*, *G. canaliculata*, *G. chamissoi*, *G. radula*, *G. skottsbergii*, *Gymnogongrus furcellatus*, *Eucheuma cottonii*, *E. spinosum*, *E. gelatinae*, *Furcellaria fastigiata*, *Hypnea musciformis* y *H. spicifera*. Este recurso abarca varias áreas geográficas y su utilización es amplia debido al gran número de propiedades de sus extractos, donde la carragenina difiere en estructura y propiedades entre las diferentes especies, permitiendo la producción de muchos materiales (McHugh, 1987).

Este hidrocoloide es utilizado en diversas aplicaciones en la industria alimentaria como espesante, gelificante, agente de suspensión y estabilizante, tanto en sistemas acuosos como en sistemas lácticos, así mismo, es un ingrediente multifuncional y se comporta de



manera diferente en agua y en leche. En el agua, se presenta, típicamente, como un hidrocoloide con propiedades espesantes y gelificantes. En la leche, tiene, además, la propiedad de reaccionar con las proteínas y proveer funciones estabilizantes.

La carragenina posee una habilidad exclusiva de formar una amplia variedad de texturas de gel a temperatura ambiente: gel firme o elástico; transparente o turbio; fuerte o débil; termorreversible o estable al calor; alta o baja temperatura de fusión/gelificación. Puede ser utilizado, también, como agente de suspensión, retención de agua, gelificación, emulsificación y estabilización en otras diversas aplicaciones industriales (Porto, 2006).

2.2.2. Composición química de la carragenina: estos hidrocoloides tienen como característica común ser polisacáridos lineales de alto peso molecular con contenido de éster sulfato de 15% a 40% formado por unidades alternadas de D-galactosa y 3,6-anhidro-galactosa (3,6-AG) unidas por ligaduras α -1,3 y β -1,4-glucosídica. (Porto, 2006; McHugh, 1987). Químicamente la carragenina se compone de galactosas altamente sulfatadas y sus aplicaciones se deben a sus propiedades hidrofílicas y aniónicas, donde estas últimas influyen la forma (Figuras 3, 4 y 5). La posición y el número de grupos de éster sulfato así como el contenido de 3,6-AG determinan las diferencias primarias entre los tres tipos de carragenina: *kappa*, *iota* y *lambda*. Los mayores niveles de éster sulfato implican en una menor fuerza de gelificación y baja temperatura de solubilización. La carragenina tipo kappa contiene de 25% a 30% de éster sulfato y de 28% a 35% de 3,6-AG. La carragenina tipo iota contiene de 28% a 35% de éster sulfato y de 25% a 30% de 3,6-AG. La carragenina tipo lambda contiene de 32% a 39% de éster sulfato y no contiene 3,6-AG. La composición química correspondiente a cada tipo de carragenina es la siguiente:

- *Kappa*-carragenina: compuesto por D-galactosa, 3,6-anidro-D-galactosa y grupos sulfatos en proporciones 6:5:7.

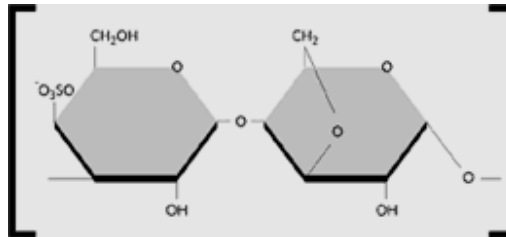


Figura 3. Esquema tomado de Porto (2006) de la configuración de la Carragenina tipo *Kappa*.

- *Iota*-carragenina: se compone de unidades repetidas de D-galactosa-4-sulfato 3,6 anhidra D-galactosa-2-sulfato. El contenido de esteres de sulfatos es de 25 a 34%.

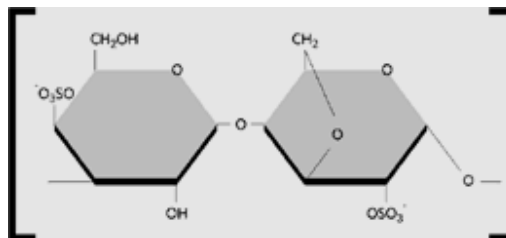


Figura 4. Esquema tomado de Porto (2006) de la configuración de la Carragenina tipo *Iota*.

- *Lambda*-carragenina: consiste esencialmente en galactano sulfatado, donde los residuos de D-galactosa están unidos glicosidicamente en las posiciones 1 y 3, mientras se presentan grupos fosfato en la posición 4.

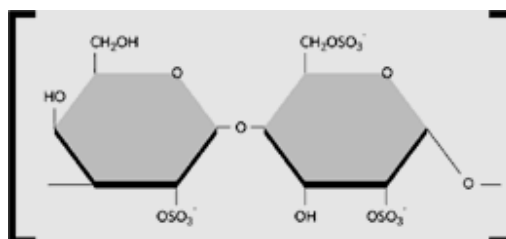


Figura 5. Esquema tomado de Porto (2006) de la configuración de la Carragenina tipo *Lambda*.

Dentro de la carragenina tipo *Kappa*, se encuentra el 97% del hidrocoloide extraído de *Hypnea musciformis* (Porto, 2006; Lewin, 1962), mientras que en géneros como *Chondrus* y especies de las Gigartinales la carragenina tipo *kappa* y *lambda* no se presentan juntas en la misma planta, pero son elaboradas en diferentes estadios del ciclo reproductivo. La



kappa-carragenina se presenta en plantas gametofíticas mientras que *lambda* se da en los tetrasporofitos (Chen *et al.*, 1973 En: McHugh, 1987).

2.2.3. Usos de la carragenina: la producción de este ficocoloide alcanza una mayor proporción con respecto a la del agar, el cual se asemeja mucho a la carragenina, sin embargo presenta alto contenido de cenizas y requiere de una mayor concentración para adquirir la consistencia gelatinosa. Las aplicaciones de la carragenina están concentradas en la industria alimentaria y pueden ser divididas en sistemas lácticos, acuosos y bebidas. Sin embargo, ya existen actualmente otras diversas aplicaciones de carragenina para una gran variedad de aplicaciones industriales, ya que esta posee diversas funciones de acuerdo con su aplicación: gelificación, espesamiento, estabilización de emulsiones, estabilización de proteínas, suspensión de partículas, control de fluidez y retención de agua.

Dentro de los usos que se han descrito para la carragenina Bula-Meyer (1989a) y Acleto (1968) mencionan los siguientes:

- Como estabilizante en la elaboración de leche achocolatada.
- En heladería y otras especialidades preparadas en esta condición.
- En la preparación de cremas batidas y jarabes.
- Como reemplazante del almidón.
- En la manufactura de sorbetes.

De acuerdo con Porto (2006) y McHugh (2003) la estructura química y sus propiedades diferencian los tres tipos de carragenanos de interés comercial (*kappa*, *iota* y *lambda*), los cuales tienen la habilidad de formar soluciones viscosas o geles que varían en lo siguiente:

- *Kappa* (κ): Gel fuerte rígido formado por sales de potasio, quebradizo formado por sales de calcio, termoreversible, ligeramente opaco que se convierte en claro con la adición de azúcar y presenta sinéresis.



- *Iota* (ι): Gel elástico formados por sales de calcio, termorreversible, claro sin vacíos de líquido (sin sinéresis), estable al congelar y descongelar y con la propiedad tixotrópica.
- *Lambda* (λ): No forma geles, forma soluciones altamente viscosas y es soluble en frío.

La κ -carragenina se requiere solo en un 0.5% en el agua y un 0.2% en la leche para formar geles, siendo este tipo de carragenano el que proporciona los geles más duros debido a la rigidez que le proporciona las propiedades de sus sales de potasio. En general la reacción proteica de las carrageninas es una propiedad importante que hace posible su utilización en múltiples aplicaciones como en la industria alimenticia para consumo humano, ya sean secos o a base de agua, así como para el alimento de mascotas; también son usados en la elaboración de geles refrescantes del aire, cremas de dientes y funciona como inmovilizante en catálisis que involucren enzimas o células completas (McHugh, 2003).

2.2.4. Cultivo y comercialización de la industria del carragenano: según McHugh (2002), del consumo total de materias primas que asciende a unas 150.000 toneladas de algas marinas (peso en seco), 28.000 toneladas son de carragenina por un valor de 270 millones de dólares. Hay 24 productores mayoristas reconocidos de carragenina y otros 10 productores menores, destacándose empresas como Ingredients Solutions Inc. (Estados Unidos), Geltech Hayco Inc. (Filipinas) y CP Kelco ApS (Dinamarca). En la actualidad los productores y distribuidores de carragenina se encuentran localizados en Indonesia y Japón, en Europa en países como Dinamarca, Francia, Filipinas, España, Alemania y Portugal, mientras que en América se encuentran en Estados Unidos y Chile, manejándose a nivel mundial un mercado que para el 2001 estaba evaluado en 300 millones de dólares (McHugh, 2003).

Desde 1970 se cultivan con éxito especies de aguas cálidas como *Kappaphycus alvarezii* y *Eucheuma denticulatum*, que actualmente son las principales materias primas utilizadas para producir carragenina. El cultivo de estas dos especies se inició en Filipinas pero se ha fomentado y extendido a otros países como Indonesia y la República Unida de



Tanzania (Zanzíbar). Las empresas que se dedican a la extracción de carragenina están promoviendo activamente el cultivo en otras zonas, como la India, África y las islas del Pacífico. Estas dos especies representan actualmente el 85% de la materia prima utilizada por la industria, mientras que *Chondrus* (procedente del Canadá, Francia, España, Portugal y República de Corea) representa el cinco por ciento y las especies de *Gigartina*, procedentes de Chile, Marruecos y México, representan el 10 por ciento restante (McHugh, 2002).

La extracción de la carragenina se realiza sobre todo en grandes fábricas, habitualmente alejadas del lugar de origen de las algas marinas, razón por la cual para que el cultivo sea comercialmente viable, el volumen de producción en cualquier zona debe ascender a 1.000 toneladas de peso seco al año (unos cuatro contenedores al mes) para poder hacer frente a los gastos de funcionamiento y llegar a 2.000 toneladas anuales como mínimo cuando la producción esté plenamente consolidada (McHugh, 2002). De igual forma, es necesario una disponibilidad de biomasa suficiente, su perduración en el tiempo para mantener en continuo funcionamiento el sistema, y contar con un poder comprador permanente para los recursos producidos (Alveal, 1995).

Cabe resaltar, que las dos especies mencionadas anteriormente no se encuentran registradas para las costas del Caribe colombiano, a diferencia de *Hypnea musciformis* (Díaz-Pulido & Díaz-Ruiz, 2003), razón por la cual se quiere realizar ensayos de cultivo con esta alga, de tal forma que en un futuro esta pueda suplir la demanda interna de carragenina. Además, se deben tener en cuenta las implicaciones ecológicas que puede acarrear el manejo de las especies anteriormente nombradas en ecosistemas como arrecifes coralinos, que de ser manejadas de forma incorrecta podrían conllevar a alteraciones ambientales como lo ocurrido en Hawaii (Smith & Conckin, 2006).



2.3. ANTECEDENTES

Aún cuando se conoce la importancia económica de las macroalgas como recurso en el mundo (Sze, 1998; Rincones, 1989; Acevedo, 1967; Taylor, 1960), son pocos los trabajos desarrollados en el tema de cultivos factibles para ser implementados de manera industrial, si lo comparamos con otras fuentes económicas del medio marino como peces y moluscos, donde la maricultura ha sido más trabajada y existe mayor información (Bula-Meyer, 1989a).

En Colombia no existe ninguna información sobre investigaciones centradas en la macroalga *Hypnea musciformis*, sin embargo en países como Brasil se han realizado varios estudios relacionados con la evaluación de los stocks naturales de *H. musciformis* (Faccini & Berchez, 2000; Reis & Yoneshigue-Valentin, 2000; Schenkman, 1989), así como ensayos de cultivo en medio natural con esta misma especie (Berchez *et al.*, 1993; Wallner *et al.*, 1992; Berchez & Oliveira, 1989; Oliveira & Berchez, 1987). Pese a esto, no existe información alguna de su implementación industrial, aun cuando existen varias investigaciones sobre el tema y se conoce la importancia del alga como fuente de carragenano (Reis & Yoneshigue-Valentin, 2000; Bula-Meyer, 1989a). También se han desarrollado estudios con *H. musciformis* en la Florida (Guist *et al.*, 1982; Lapointe *et al.*, 1976), India (Ganesan *et al.*, 2006) y en países como Senegal, donde se han hecho algunos trabajos con la misma especie por parte de empresas como Algasen, que en la actualidad fomentan el interés por la recolección silvestre de esta alga para su exportación, sin embargo para el 2002 no existían aún cultivos (McHugh, 2002). Por otro lado, se tiene conocimiento de algunos ensayos de cultivo *in vitro* con esta macroalga (*H. musciformis*) desarrollados por Reis *et al.* (2003), Bravin & Yoneshighe-Valentin (2002) y Oliveira *et al.* (1989), así como estudios sobre el contenido y evaluación de la carragenina producida por esta alga realizados por Andrade *et al.* (2000) y Greer *et al.* (1984).

Es importante mencionar que en el país las investigaciones se han centrado en abordar la taxonomía, distribución y ecología de las macroalgas, existiendo varios documentos para el Caribe colombiano como son los trabajos de Arenas (1999), Grajales & Poveda (1997), Díaz-Pulido (1995), Gonzáles & Rojas (1995), Bula-Meyer (1990), Rincón (1988), Bravo



(1983), Ángel & Quirós (1977) y Gaviria (1977). Específicamente para el área de Santa Marta existen investigaciones sobre el mismo tema por autores como Camacho (2003), Mejía (2001), Almanza & Villamil (1998), Vergara (1997) y Márquez (1982a), sin embargo, recientemente se han desarrollado trabajos como los de Ospina (2003), Díaz-Ruiz (2002) y Martínez *et al.* (2002) que han abordado la química de estos organismos, teniendo en cuenta la importancia ecológica que desempeñan y también como un potencial recurso farmacéutico.

Se ha dejado a un lado la investigación en la ficología aplicada y en los usos de las algas como recursos económicos importantes en el país, razón por la cual los estudios sobre estos temas son muy limitados. Las investigaciones de Bula-Meyer (1989 a y b) y Acevedo (1967) son los únicos trabajos que manifiestan el potencial de las algas para la industria Colombiana de ser investigadas e implementadas. El primer autor también desarrolló el primer ensayo reportado sobre cultivos de macroalgas marinas, implementado en medio natural en el área sur del Rodadero (Santa Marta) con la macroalga roja *Grateloupia filicina*. En este trabajo no se obtuvo éxito con las técnicas de cultivo de propagación vegetativa y hábitat improvisado que fueron utilizadas debido al alto grado de epifitos asociados y posiblemente por la fragilidad del talo en esta alga. Sin embargo, el autor resalta que para géneros de ramas más rígidas como *Hypnea*, *Euchema* y *Gracilaria* la técnica de trenzado de propileno (propagación vegetativa) podría ser exitosa (Bula-Meyer, 1989b).

Se han desarrollado algunos ensayos de cultivo de macroalgas en regiones de la Guajira (Cabo de la Vela) por autores como Rincones & Gallo (2004) y recientemente Corpoguajira e Invemar han desarrollado experimentos para integrar algas del género *Gracilaria* en un policultivo con bivalvos en la Guajira. A partir los ensayos preliminares realizados, Delgadillo *et al.* (2005) plantearon buenas perspectivas para el desarrollo de estos cultivos en una zona altamente productiva como la Guajira, sin embargo debido a los altos grados de epifitismo y herbivorismo reportados durante el estudio, no se continuó con estos ensayos de cultivo.



En Suramérica es limitado el trabajo sobre cultivos de algas carragenófitas, sin embargo, se han desarrollado cultivos experimentales de agarófitas en la costa noreste de Venezuela con *Gracilaria cornea* donde Rincones (1989) encontró que el método de líneas de polipropileno (propagación vegetativa) es relativamente fácil y poco costoso. Así mismo, de acuerdo con McHugh (2002), actualmente en el mismo país existe una empresa muy activa en el fomento del cultivo y utilización de algas marinas, participando en el desarrollo del cultivo de *Kappaphycus alvarezii*, alga no autóctona que contiene carragenina, sin embargo el proceso de introducción de esta especie se sigue de cerca debido a sus posibles efectos sobre la flora y fauna locales.

Chile ha desarrollado un trabajo significativo con algas, teniendo dos especies de importancia económica como son *Gracilaria chilensis* y *Gracilariopsis lemaneiformis*, las cuales desde 1982 se comenzaron a cultivar comercialmente en respuesta a la sobreexplotación sobre este recurso y para 1991 se logró que el 84% de la producción fuera obtenida de los cultivos (Alveal *et. al.*, 1997; McHugh, 2003). En la actualidad, estos cultivos proporcionan el 88% de la producción de este país y los métodos de cultivo empleados son diversos, dependiendo de la zona y el tipo de sustrato presente. De la producción alrededor de las 47.000 toneladas secas al año, se destina un 85% del producto de alga seca para la producción de agar, mientras que la producción de este último es destinada 100% al mercado internacional (McHugh, 2003). Pese a que *G. chilensis* es la especie más cultivada comercialmente en el país, Buschmann *et al.* (2001) mencionan también el desarrollo de una industria carragenófitas diversificando sus actividades durante los últimos diez años.

En América existen otros países como México, que se ha colocado dentro de los cinco principales países productores de agarófitas, aportando el 10% de la producción mundial (McHugh, 1991 En: Hernández-Guerrero *et al.*, 1999). En la actualidad se cultiva *Kappaphycus alvarezii* y otras algas marinas similares que contienen carragenina, a partir de una inversión de capital muy reducida pero con mucha mano de obra y rentabilidad escasa (McHugh, 2002).



Existen cultivos de los géneros *Eucheuma* y *Kappaphycus* en Cuba, que aunque han tenido éxito, no se han podido ampliar para poder exportar la producción o al menos suplir su propio mercado interno de carragenina (McHugh, 2002). Otros ensayos con *K. alvarezii* se han desarrollado en aguas marinas del Viet Nam central y meridional, por el Instituto Nha Trang de Ciencias Físicas, sin embargo no se han obtenido buenos resultados de producción (McHugh, 2002).

Kappaphycus, es un género que ha sido muy explotado en regiones como Filipinas (nativa de ese lugar) donde existen varias investigaciones sobre esta macroalga, consecuente con su condición como mayor recurso de carragenófitas del mercado mundial (McHugh, 2002). En ese país *Kappaphycus* domina el 85-90% del cultivo, procesamiento y mercado de algas (Hurtado *et al.*, 2001; Samonte *et al.*, 1993) y el cultivo de especies como *K. alvarezii* y *Eucheuma denticulatum (spinosum)*, actualmente no solo comprenden Filipinas, sino otros países como Indonesia y la República Unida de Tanzania (Zanzíbar). Se ha llevado a cabo seguimientos de los cultivos de *K. alvarezii* ubicados en el oeste de Visayas (Filipinas), donde se concluye que el método de línea de fondo es mas rentable y eficiente que el monolineal de balsa (Samonte *et al.*, 1993).

Islas del pacifico como Fiji, Kiribati, producen desde hace varios años *Kappaphycus alvarezii*, mientras que Tonga había tratado anteriormente de cultivar la misma alga, pero los bancos de ziganidos devoraban las plantas jóvenes y no se pudo idear un método para resolver este problema. Actualmente también se realizan ensayos en Vanuatu, patrocinadas probablemente por un productor comercial de carragenina (McHugh, 2002).



3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Ante la falencia de información sobre cultivos macroalgales en Colombia y en búsqueda de nuevas opciones de maricultura para el país, se realizaron ensayos de cultivo en el medio natural del alga roja *Hypnea musciformis* en las zonas costeras de Puerto Luz y Taganga (Magdalena) en la primera mitad del año (Febrero-Junio), con el fin de conocer la factibilidad de su cultivo en términos de crecimiento, producción de biomasa y contenido de carragenina, y su relación con las diferentes épocas climáticas, tiempos de cosecha y áreas de estudio.



4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conocer la factibilidad del cultivo del alga carragenófito *Hypnea musciformis*, a partir del sistema de cultivo sobre líneas flotantes en el mar, considerando como indicadores biológicos la producción de biomasa y la tasa de crecimiento diario.

Establecer diferencias en la producción de biomasa y tasa de crecimiento diario de *H. musciformis* en el cultivo con relación a las condiciones ambientales del agua (transparencia, temperatura, salinidad y tasa de sedimentación), en dos áreas diferentes de estudio y durante dos épocas climáticas.

Comparar el desarrollo del cultivo de *H. musciformis* en dos intervalos o tiempos de cosecha diferentes (semanal y quincenal).

Evaluar el contenido de carragenina obtenido a partir de la biomasa algal seca cosechada en los ensayos de cultivo realizados.

Establecer si existe influencia por parte de algunos factores bióticos presentes en los ensayos de cultivo de *H. musciformis*.

Evaluar los estados reproductivos en los que se encuentre el alga al momento de sembrar y en lo posible relacionarlos con los resultados obtenidos de los ensayos de cultivo realizados.



5. HIPÓTESIS

La factibilidad del cultivo de *Hypnea musciformis* en términos de producción de biomasa y tasa de crecimiento diario varía entre las dos áreas del estudio, los dos tiempos de cosecha y las dos épocas climáticas, debido a las diferencias en las condiciones del agua (intensidad lumínica, disponibilidad de nutrientes y tasa de sedimentación) y a las características propias de cada lugar (exposición al oleaje, geomorfología).

El rendimiento de carragenina obtenido del material algal seco producido por los cultivos de *Hypnea musciformis*, es dependiente del lugar, tiempo de cosecha y época climática durante la cual se desarrollaron los ensayos de cultivo.



6. METODOLOGÍA

6.1. AREA DE ESTUDIO

6.1.1. Generalidades: la presente investigación se desarrolló en la región del Magdalena en las áreas de Puerto Luz y Taganga ubicadas entre los 74° 10' y 74° 20' de Longitud Oeste y los 11° 10' y 11° 20' de Latitud Norte (Figura 6). Esta región se encuentra bajo la influencia de los desplazamientos norte-sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), como ocurre en general en el Caribe colombiano. Cuando el ZCIT se encuentra más hacia el sur (estaciones secas), las altas presiones hacen que los vientos alisios soplen del noreste de manera constante y fuerte. Cuando el ZCIT se encuentra más hacia el norte (estaciones húmedas), los vientos son de poca fuerza y de dirección variable debido a las bajas presiones (Pujos *et al.*, 1986).

Las aguas de la región poseen condiciones oceanográficas de régimen bimodal: en la época seca, se produce un fenómeno de afloramiento de aguas subsuperficiales frías (21-25 °C), saladas (37 UPS) y relativamente ricas en nutrientes, debido a la influencia de los vientos Alisios del norte; en la estación lluviosa, la costa se ve afectada por pulsos de agua estuarina o dulce, ocasionando un aumento en la temperatura del mar (27-31 °C), baja salinidad (24-36 UPS), alta turbidez y aumento en la oferta de nutrientes y materia orgánica en suspensión (Márquez, 1982b; Bula-Meyer, 1985). En estos periodos climáticos existen fases transicionales de acuerdo a los desplazamientos del ZCIT, identificándose la época *seca mayor* (diciembre – abril) donde existen las mayores intensidades de los vientos Alisios, la *lluviosa menor* (mayo – junio), donde hay un debilitamiento de los vientos, la *seca menor* (julio – agosto), conocida como el “Veranillo de San Juan” y por ultimo la *lluviosa mayor* entre los meses de septiembre y noviembre (Franco-Herrera, 2005).

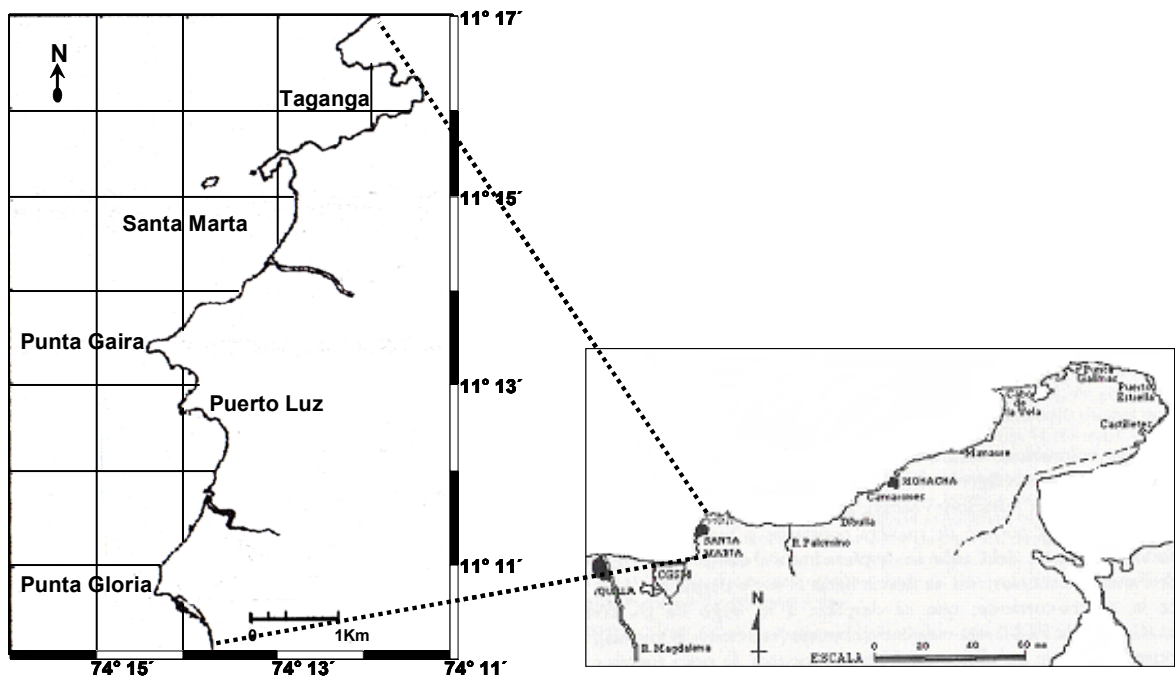


Figura 6. Zona de estudio indicando las áreas de Puerto Luz y Taganga, Caribe colombiano. Tomado y modificado de Bula-Meyer y Díaz-Pulido (1995).

6.1.2. Puerto Luz: forma parte del conjunto de playas que constituyen la ensenada de Gaira, conformada por sedimentos marinos como gravillas, areniscas y sedimentos fluviales (principalmente arcillas y areniscas), todos originados a partir de la meteorización y erosión de las rocas que conforman el relieve costero. Así mismo, tiene el aporte fluvial de las cuencas del río Magdalena y el estuario de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Esta área está influenciada por el patrón de corrientes de la ensenada y por condiciones de temperatura del agua y la salinidad que varían dependiendo de la época climática con valores de 23-26 °C y 35-38 UPS respectivamente para la época seca, mientras que en época lluviosa se registran temperaturas de hasta 28 °C con salinidades de 30 UPS (Franco-Herrera, 2005). El cultivo se desarrolló en el costado norte de la bahía a 1 Km aproximadamente de la playa principal (El Rodadero) y alejado 5 m del litoral rocoso que constituye esta zona (Figura 7).



Figura 7. Fotos de la ensenada de Gaira (sector Rodadero). **A)** Muestra la zona donde se realizaron los ensayos, **B)** indica la ubicación específica del cultivo en el área de Puerto Luz.

6.1.3. Taganga: esta constituida por una plataforma angosta y geológicamente las montañas circundantes están conformadas por material rocoso de origen natural metamórfico llamado filitas (Franco-Herrera, 2005). Las corrientes son poco perceptibles y en la primera mitad del año se evidencian temperaturas de 26 °C, salinidad de 37 UPS y transparencia calculada con disco Secchi hasta 9 m. En el segundo semestre del año, cuando predomina la época lluviosa, la temperatura superficial puede aumentar hasta 28 °C y la salinidad y transparencia se comportan similares a la primera mitad del año (SILAKANGAMA, 2005). El cultivo se desarrolló en el costado sur de la bahía a 2 Km aproximadamente de la playa principal y alejado 40 m del litoral rocoso que constituye esta zona (Figura 8).



Figura 8. Fotos de la bahía de Taganga. **A)** Señala el costado sur de la bahía donde se realizaron los ensayos, **B)** indica la ubicación específica del cultivo.



6.2. FASE DE CAMPO

6.2.1. Selección de las áreas de estudio: los ensayos de cultivo se realizaron en las dos áreas mencionadas anteriormente, las cuales cumplen con características importantes (mencionadas por Areces, 1995) para el desarrollo de los cultivos macroalgales:

- Áreas de fácil acceso por mar y por tierra.
- Fondos arenosos o rocoso-arenosos.
- Áreas no desprovistas de vegetación, pero tampoco abundan mucho las plantas.
- Lejos de lugares de fondo irregular o de desarrollo coralino evitando así la herbivoría.
- Áreas protegidas del embate directo del oleaje y con buen intercambio de agua.

6.2.2. Construcción de los módulos de cultivo: se trabajó con un método de cultivo alternativo de bolsas unidas a líneas suspendidas en el mar a una profundidad de 0,5 m por debajo de la superficie, en el cual el crecimiento macroalgal se lleva a cabo por medio de reproducción vegetativa.

Para la construcción de los módulos se utilizó una cuerda de polipropileno de 5 mm de diámetro y de 20 m de longitud (Glenn *et al.*, 1996; Areces, 1995), la cual se mantuvo horizontalmente por medio de 2 líneas verticales perpendiculares en los extremos. Estas 2 líneas verticales se unieron a pesos muertos en el fondo y a boyas superficiales para mantener su posición (Figura 9). Las algas se colocaron en bolsas construidas con red de polipropileno (poro de malla de 8 mm de diámetro) ubicadas cada 30 cm ($n = 60$) a lo largo de la línea o cuerda horizontal.

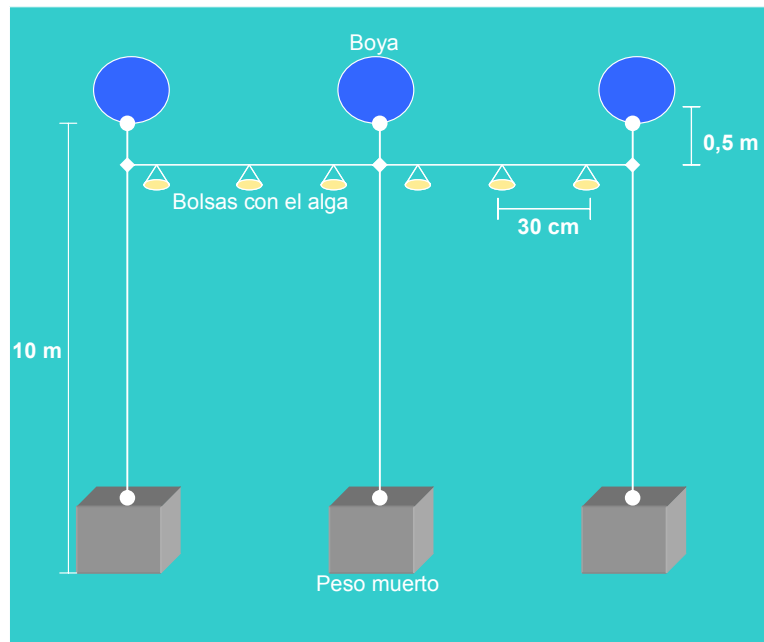


Figura 9. Diagrama del sistema de cultivo sobre líneas flotantes desarrollado en las dos áreas de estudio.

6.2.3. Colecta y transporte del material de siembra: las algas cultivadas fueron colectadas en la zona Punta La Loma (Ver Anexo 1), en horas de la mañana (7-9 am). Se tomaron cuidadosamente individuos completos, en lo posible con su parte basal y se protegieron de temperaturas e intensidades luminosas elevadas haciendo uso de una nevera con bolsas de hielo (el cual no tenía contacto directo con los especímenes) para ser transportadas al laboratorio. Las algas usadas para la siembra debían presentar buen aspecto, textura y coloración (Oliveira *et al.*, 1995) y fueron siempre lavadas para la remoción de sedimentos, eventuales animales u otros organismos asociados. Se sembraron en los módulos de cultivo en un periodo de tiempo de 5 a 6 horas posterior a su colecta.

6.2.4. Siembra y densidad del cultivo: la densidad con la que se manejó el cultivo fue de 60 bolsas en una línea de 20 m. Dentro de cada bolsa de polipropileno se introdujo una cantidad de aproximadamente 1,5 - 2 g pesada previamente en el laboratorio. Una vez transportadas hasta el sistema del cultivo, las bolsas se colocaron en la línea horizontal respectiva mediante el uso de ganchos tipo nodriza (Figura 9). La densidad total en peso de alga sembrada para cada zona fue aproximadamente de 120 g.



6.2.5. Mantenimiento de los módulos: para el mantenimiento del cultivo se realizaron revisiones de los mismos 2 o 3 veces por semana contemplando dos tipos de tareas efectuadas de manera sistemática: las tareas operativas de conservación y las actividades del control fitotécnico del ciclo productivo (Areces, 1995).

6.2.5.1. *Tareas operativas de conservación:* se realizó en el mantenimiento de las estructuras y el material algal del cultivo, desarrollando actividades como la limpieza de sedimentos y epifitos en las estructuras del cultivo y en las bolsas con los fragmentos del alga (Figura 10).



Figura 10. Foto del cultivo mostrando la manera de desarrollar las tareas operativas para la conservación del mismo.

6.2.5.2. *El control fitotécnico del ciclo productivo:* se desarrolló con el fin de conocer el estado fisiológico de la planta y su acoplamiento al sistema de cultivo. Para este caso se tuvo en cuenta indicadores como la presencia de zonas blanquecidas o decoloradas, la alteración del patrón de pigmentación, el incremento del epifitismo y el aumento de la fauna acompañante.

6.2.6. Cosecha de las algas: la respuesta de las macroalgas en el cultivo se midió mediante monitoreos de crecimiento y producción de biomasa semanales y quincenales (Qian *et al.*, 1996; Oliveira *et al.*, 1995). Estas cosechas se realizaron colectando a mano las bolsas de polipropileno con los ejemplares, las cuales se introdujeron en una bolsa plástica con agua de mar y se transportaron en una nevera a bajas temperaturas, hasta llegar al laboratorio. Para el mantenimiento del cultivo, una vez realizada la cosecha se



colocaba (reponía) un nuevo volumen del alga previamente tomada del medio natural (Punta La Loma) en cada bolsa de nylon con un peso igual al usado inicialmente en el cultivo.

6.2.6.1. *Método destructivo*: la determinación de biomasa se hizo mediante la colecta y cuantificación de todas las bolsas respectivas con el alga del cultivo. Una vez recogidas fueron llevadas al laboratorio para pesar el material presente en cada una de estas bolsas.

6.2.6.2. *Frecuencia y tipo de muestreo*: se realizó un muestreo completo, cosechando todo el material sembrado en las dos áreas de estudio, la mitad a los 7 días y la otra mitad a las dos semanas. La primera cosecha (mitad del material sembrado) se realizó al azar y en la segunda cosecha se recogió el material restante de cada siembra.

6.2.7. Parámetros ambientales: se llevó a cabo en cada muestreo (siembra y cosecha), la medición correspondiente a cada uno de los parámetros, teniendo en cuenta que las mediciones *in situ* se realizaron entre las 10:00am y las 2:00pm. Se trabajó el procedimiento descrito por Garay-Tinoco *et al.* (2003) y Garzón-Ferreira *et al.* (2002) que consistía en lo siguiente:

6.2.7.1. *Coeficiente de extinción de la luz*: este parámetro se determinó mediante la medición de la penetrabilidad de los rayos del sol (transparencia). Se utilizó un Disco Secchi de 20 cm de diámetro, dividido en 4/4, dos de ellos de color negro y los otros dos blancos, en forma alternada. Mediante un peso o lastre y un cabo medrado, el disco se sumergió en el agua manteniéndolo vertical y se anotó el valor de la profundidad en la cual desaparecía para el observador (ubicado por fuera del agua).

6.2.7.2. *Temperatura*: la lectura de este parámetro se realizó directamente en campo mediante la introducción de un termómetro Celsius (centígrado) con columna de mercurio de escala cada 0.1 °C. Se introdujo el instrumento cerca al sistema de cultivo a una profundidad de 0.5 cm aproximadamente durante 3 minutos y una vez pasado el tiempo se hizo la lectura justo cuando se sacara del agua.



6.2.7.3. *Sedimentación*: se trabajó con un tubo fijo de PVC de 30 cm de altura y 6 cm de diámetro, tapado en su parte inferior. Este fue puesto mediante unas abrazaderas a los cabos verticales de los módulos de cultivo, a la misma altura a la que se encontraban ubicadas las algas sembradas. Este tubo se recogió cada semana al realizar las cosechas e inmediatamente iba siendo se remplazaba con otro igual para la siguiente medición de este parámetro

6.2.7.4. *Muestras de agua para la salinidad*: se tomó una muestra de agua para la determinación de la salinidad, cada vez que se trabajó en el sistema de cultivo. Esta toma se hacía de forma manual mediante la introducción de una botella plástica de 500 ml de volumen a una profundidad de 0.5 m aproximadamente. Una vez tomada la muestra se refrigeraba y se mantenía protegida de la luz solar, hasta llegar al laboratorio para realizar su posterior análisis.

6.3. FASE DE LABORATORIO

6.3.1. Biomasa húmeda (peso húmedo): una vez cosechado el material algal de los módulos en cada fecha de muestreo, se transportó al laboratorio para proceder a limpiarlo con agua dulce y sacar las sales y partículas que puedan estar adheridas, incluyendo epifitos y otros organismos. Luego se eliminó el exceso de agua que pudiera estar sobre la superficie de las algas mediante un secado rápido (5 seg.) con una toalla de tela. Por ultimo, se pesó el material presente en cada bolsa en una balanza analítica de 0.01 g de precisión.

6.3.2. Biomasa seca: se consideró como el peso del tejido algal luego que la totalidad del agua ha sido removida. Para el secado de las algas, estas fueron puestas a la intemperie, protegidas de la lluvia, sobre bandejas metálicas que permitían extender el material, facilitando la ventilación del mismo. El tiempo al cual se expusieron las algas en este proceso fue de 48 horas, después de las cuales se obtenía un peso constante y una apariencia totalmente seca.



6.3.3. Parámetros ambientales:

6.3.3.1. *Sedimentación*: una vez recogido el tubo de PVC del montaje de campo, se dejó decantar por 2 horas y luego mediante sifoneo se removió la mayor cantidad de agua posible. Posteriormente, el sedimento era puesto en una bandeja metálica, la cual se dejó a la intemperie, protegida de la lluvia y la brisa, entre 24 y 48 horas; una vez seco el material se pesó en una balanza analítica de 0.01 g de precisión.

6.3.3.2. *Salinidad*: a partir de la muestra de agua tomada en campo, se determinó la salinidad mediante el uso de un refractómetro manual el cual maneja una precisión de una unidad práctica de salinidad (equivalente a partes por mil).

6.3.4. Observación de estados reproductivos: a partir del material colectado semanalmente para sembrar en los cultivos, se tomaron al azar algunas plantas las cuales fueron fijadas en formalina al 4% y utilizadas para determinar el estado reproductivo en el cual se encontraban las algas al momento de realizar la siembra. Mediante el uso de estereoscopio y microscopio, se identificó la presencia o no de estructuras reproductivas, indicando así tres estados: el vegetativo (planta adulta o juvenil sin estructuras reproductivas), el tetrasporofito (con presencia de ramas tretrasporangiales con tetrasporas) y el carposporofito o cistocarpos (con carposporas). Adicionalmente se tomaron fotografías en el momento de observar dichas estructuras en las algas.

6.3.5. Extracción de carragenina: para la obtención y análisis del contenido de carragenina del alga cultivada, se organizó y empacó el material cosechado y se envió la planta de procesamiento de algas marinas ubicada en Sogamoso, Ficocoloides de Colombia E.U., donde se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

Antes de realizar la extracción de la carragenina, las muestras del alga seca fueron pulverizadas, blanqueadas, secadas nuevamente y luego pesadas utilizando una balanza analítica digital marca MAETLER AE 100. Aunque existen dos procedimientos para la extracción de este ficocoloide (Ver Anexo 2), en esta investigación se llevó a cabo el proceso de extracción a partir de agua alcalina (Figura 11) para convertir el precursor



biológico *m*-carragenina en *k*-carragenina, y por último el material se lavó y se extrajo con agua a 85 °C (Andrade *et al.*, 2000).

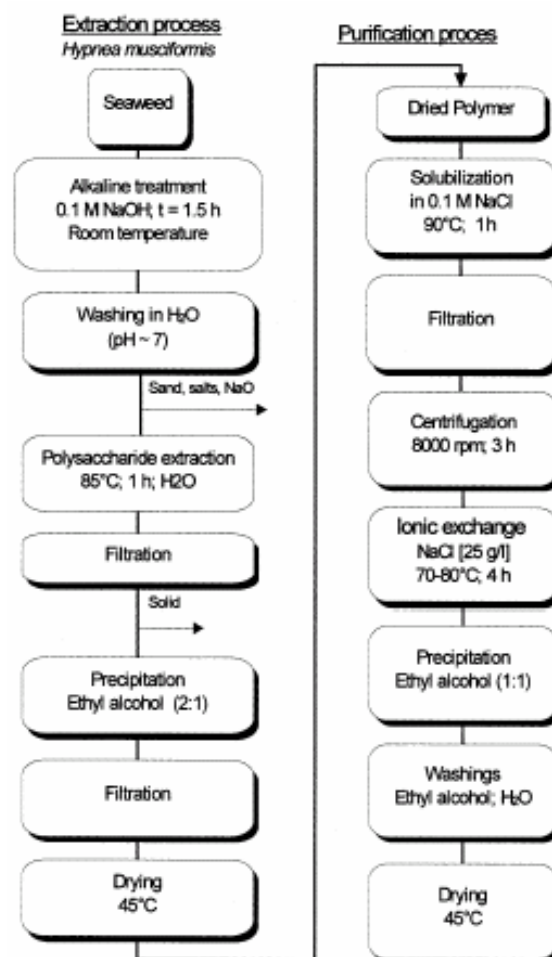


Figura 11. Diagrama del proceso de extracción de la carragenina a partir de agua alcalina, comúnmente usado en el alga *Hypnea musciformis*. Tomado de Andrade *et al.* (2000).

Las mediciones de viscosidad se hicieron a partir del uso de un viscometro marca BROOKFIELD modelo RVF-150 en concentración de 1,5% de carragenina en agua destilada con adición de 0,2% de KCl (Peso – Volumen).

La fuerza GEL se tomó a 20°C en concentración de 1,5% de carragenina en agua destilada con adición de 0,2% de KCl (Peso – Volumen).



6.4. FASE DE GABINETE

A partir de la información adquirida durante el estudio, se realizaron diferentes cálculos que permitieron determinar el crecimiento macroalgal y producción del cultivo:

6.4.1. Crecimiento: la respuesta de las macroalgas en el cultivo se midió en términos de tasas de crecimiento, que permite conocer la producción algal calculada a partir de la biomasa producida (Israel, 1995). El cálculo de la tasa de crecimiento corresponde al porcentaje de incremento diario de peso húmedo, considerando los pesos de las biomásas iniciales y finales de las algas del cultivo y su período de permanencia en el mismo, de acuerdo con la ecuación planteada por McLachlan (1979 En: Wallner *et al.*, 1992):

$$\% \text{incremento/día} = (W_f / W_o)^{(1/D)} - 1 \times 100$$

Donde: W_o , corresponde al peso húmedo inicial sembrado en el cultivo.

W_f , corresponde al peso húmedo final cosechado.

D , corresponde a la duración del cultivo en días.

6.4.2. Producción: a partir de cada muestreo se pudo conocer la relación entre el material cosechado y el sembrado inicialmente, mediante la fórmula (Kaladharan *et al.*, 1996):

$$Y = (W_f - W_o) / m / D$$

Donde: W_o , corresponde al peso húmedo inicial sembrado en el cultivo.

W_f , corresponde al peso húmedo final cosechado.

m , corresponde a la longitud de la cuerda sobre la cual se desarrolló el cultivo.

D , corresponde a la duración del cultivo en días.



6.4.3. Relación Peso seco y Peso húmedo: a partir de las mediciones realizadas en el laboratorio se determinó el valor promedio de la tasa de conversión entre el peso seco y el peso húmedo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Peso seco: } \text{Peso húmedo} = W_s / W_h$$

Donde: W_s , corresponde al peso seco.

W_h , corresponde al peso húmedo.

6.4.4. Rendimiento de la carragenina: a partir del material algal seco obtenido de cada uno de los ensayos de cultivo y teniendo en cuenta el material seco correspondiente, obtenido del proceso de extracción de la carragenina, se calculó el rendimiento de este ficocoloide en términos de porcentaje a partir de la siguiente relación:

$$\% \text{ de Rendimiento} = (W_c * 100) / W_s$$

Donde: W_c , corresponde al peso seco de la carragenina obtenida.

W_s , corresponde al peso algal seco.

6.4.5. Parámetros fisicoquímicos: a partir del trabajo desarrollado en campo y laboratorio se determinaron algunos parámetros mediante el siguiente procedimiento matemático:

6.4.5.1. *Coeficiente de extinción de la luz* (κ): se determinó este parámetro mediante el dato de transparencia obtenido con el disco Secchi, haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$\kappa = \frac{A}{D(m)} \quad (\text{Tait, 1987})$$

Donde: A , corresponde a la una constante con valor de 1,44 para aguas costeras.

D , corresponde a la profundidad obtenida con el Disco Secchi.



6.4.5.2. *Sedimentación*: una vez obtenido el peso correspondiente a la muestra trabajada, se pudo calcular la tasa de sedimentación a partir de la siguiente formula:

$$Tasa.Sed. = W \times \frac{1}{1000mg} \times \frac{1}{AB} \times \frac{1}{ND}$$

Donde: W, corresponde al peso seco del sedimento.

AB, corresponde al área de la boca de la trampa.

ND, corresponde al número de días que estuvo sumergida la trampa.

6.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Todos los datos y resultados obtenidos se organizaron en matrices con ayuda del programa Microsoft Excel XP®, permitiendo trabajar los datos de manera ordenada. A partir del uso del paquete estadístico StatGraphics® plus 4.0., se realizaron pruebas de Normalidad (Prueba de Shapiro-Wilks), determinando la necesidad de trabajar con estadística no paramétrica al no poder normalizar los datos con el correspondiente tipo de transformación. Con el fin de observar las diferencias entre las dos áreas de estudio, épocas climáticas y tiempos de duración de las algas en los cultivos, se trabajó con los datos originales y se sometieron al test de Kruskal-Wallis considerando cada factor. Para comparaciones entre dos muestras se utilizó el test de Mann-Whitney (Zar, 1999).



6.6. VARIABLES E INDICADORES

Dentro de este estudio se consideraron tres factores y se relacionaron con variables dependientes como la factibilidad del cultivo y variables independientes como las condiciones del área donde se desarrollaron los ensayos (Tabla 1).

Tabla 1. Variables consideradas en el estudio incluyendo los tres factores de comparación: época climática, lugar y tiempo de cosecha.

	VARIABLES	INDICADORES
DEPENDIENTE	- Factibilidad del cultivo.	- Tasa de crecimiento (TCD)
		- Producción (biomasa húmeda y seca)
INDEPENDIENTE	- Condiciones del área de cultivo.	- Rendimiento de carragenina
		- Coeficiente de extinción
		- Temperatura
		- Salinidad
	- Época climática.	- Tasa de sedimentación
		- Seca mayor
		- Lluviosa menor
	- Lugar de establecimiento del cultivo.	- Taganga
		- Puerto Luz
	- Tiempo de cosecha	- Semanal
		- Quincenal



7. RESULTADOS

7.1. MANTENIMIENTO DEL CULTIVO

A lo largo de los 5 meses de estudio, los montajes realizados para los cultivos se mantuvieron estructuralmente en buen estado en los dos lugares en donde se llevaron a cabo los ensayos, no requiriendo la inversión de material extra para el reemplazo o mejora de elementos como cuerdas y boyas sobre los cuales se desarrollaron. Sin embargo, se limpiaron continuamente las estructuras debido a epifitos y demás organismos que se adherían continuamente a los montajes.

El alga sembrada, en algunos casos, presentó cambios externos visibles en la coloración, la cual pasaba de un color verde oscuro – café a uno verde claro; esta despigmentación fue más evidente a medida que las algas se mantenían durante más tiempo en el cultivo (Figura 12).



Figura 12. Fotos tomadas del alga *Hypnea musciformis* **A)** antes y **B)** después del cultivo.

Durante el estudio se presentaron pérdidas de material por desprendimiento de la bolsa que contenía el alga, que abarcaron el 5,07% del total de fragmentos sembrados en las dos zonas. Por otro lado, el 27,61% de los fragmentos exhibieron pesos finales menores a los iniciales arrojando algunas tasas de crecimiento negativas.



7.2. RESULTADOS GENERALES (PRODUCCIÓN, TASA DE CRECIMIENTO DIARIO Y CONVERSIÓN PESO HÚMEDO / PESO SECO)

En general, se observó una tendencia al aumento en la biomasa de *Hypnea musciformis* sembrada en los diferentes ensayos realizados, donde el promedio de producción de biomasa húmeda por línea fue de $0,044 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$ ($\pm 0,058$), existiendo valores promedio entre $0,009$ y $0,089 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$ (Tabla 2). Considerando individualmente cada uno de los ensayos realizados durante el estudio, se obtuvieron producciones entre $-0,11$ y $0,18 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$.

Tabla 2. Valores promedio con su respectiva desviación standart de las producciones por línea de cultivo ($\text{g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$) para los diferentes ensayos realizados.

	<i>Seca Mayor</i>		<i>Lluviosa menor</i>	
	<i>1 semana</i>	<i>2 semanas</i>	<i>1 semana</i>	<i>2 semanas</i>
Taganga	0,089 ($\pm 0,053$)	0,065 ($\pm 0,029$)	0,106 ($\pm 0,051$)	0,018 ($\pm 0,031$)
Puerto Luz	0,071 ($\pm 0,037$)	0,048 ($\pm 0,020$)	0,009 ($\pm 0,061$)	0,036 ($\pm 0,019$)

Promedio de todo el estudio = $0,044 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$ ($\pm 0,058$)

Las mayores producciones se obtuvieron en Taganga en los ensayos de cultivo semanales, mientras que los menores valores se presentaron durante la época lluviosa menor en los ensayos semanales en Puerto Luz y quincenales en Taganga (Tabla 2).

La tasa de crecimiento diario (TCD) por fragmento cultivado (material sembrado por bolsa) fue en promedio de $3,39\%$ diario ($\pm 6,35$) con rango entre $0,17$ y $6,56\%$ diario (Tabla 3). Sin embargo, individualmente se obtuvo valores muy bajos de hasta $-56,04\%$, así como valores superiores a los promedios reportados de hasta $22,17\%$ diario.

Tabla 3. Valores promedio con su respectiva desviación standart de las tasas de crecimiento diario (TCD) para los diferentes ensayos de cultivo realizados.

	<i>Seca Mayor</i>		<i>Lluviosa menor</i>	
	<i>1 semana</i>	<i>2 semanas</i>	<i>1 semana</i>	<i>2 semanas</i>
Taganga	6,16 ($\pm 4,09$)	3,59 ($\pm 4,07$)	3,77 ($\pm 8,95$)	0,17 ($\pm 4,51$)
Puerto Luz	6,56 ($\pm 6,54$)	2,66 ($\pm 3,29$)	0,58 ($\pm 6,65$)	2,54 ($\pm 4,66$)

Promedio de todo el estudio = $3,39\%$ diario ($\pm 6,35$)



Los mayores crecimientos, en ambas zonas, se obtuvieron durante la época seca mayor, en los ensayos de cosecha semanal; contrario a esto, los menores crecimientos se presentaron durante la época lluviosa menor (Tabla 3) en los ensayos semanales en Puerto Luz y quincenales en Taganga.

El test de Kruskal-Wallis reveló que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los ensayos desarrollados durante el estudio (lugar, época, semanas), presentándose en términos de producción y TCD los mejores resultados en el área de Taganga durante la época seca mayor, donde se obtuvieron los mayores valores tal como se observa en las tablas 2 y 3.

A partir de todo el trabajo se obtuvo la tasa de conversión entre el peso seco y el peso húmedo del material cosechado, que fue en promedio de $0,11(\pm 0,02)$, indicando que el peso seco producido en los diferentes ensayos era aproximadamente el 11% del material húmedo cosechado. El material seco calculado a partir de este porcentaje equivale a la producción del cultivo que es de importancia para la extracción de la carragenina.

7.3. CULTIVO EN TAGANGA

En este sector se obtuvo un crecimiento diario (TCD) promedio de 3,34% ($\pm 6,15$) con rangos individuales entre -56,04 y 21,06% diario, donde los mejores resultados se reportaron en los ensayos semanales durante la época seca mayor (6,16%), mientras que los crecimientos más bajos se presentaron en los cultivos de cosecha quincenal durante la época lluviosa menor (0,17%) (Figura 13).

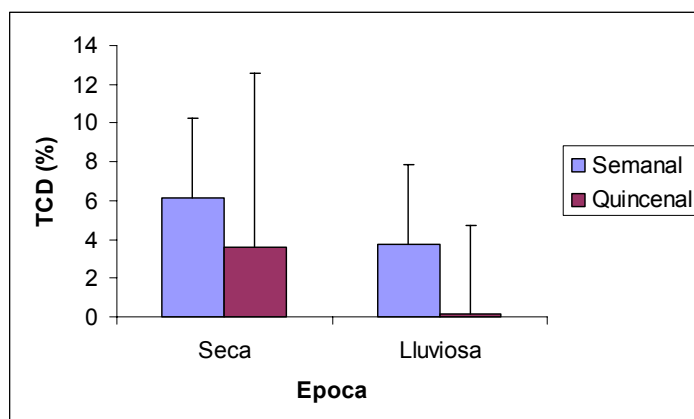


Figura 13. Tasa de crecimiento diario (TCD) promedio del alga para los ensayos de cultivo desarrollados en el área de Taganga, considerando las dos épocas climáticas y los dos tiempos de cosecha trabajados.

La producción obtenida por línea fue en promedio de $0,02 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$ ($\pm 0,05$) con rangos entre $-0,11$ y $0,12 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$, presentándose los mejores resultados durante la época seca mayor; así mismo se reportaron valores negativos correspondientes a la época lluviosa menor, donde hubo pérdidas de biomasa en los primeros ensayos de cosechas quincenales (Figura 14).

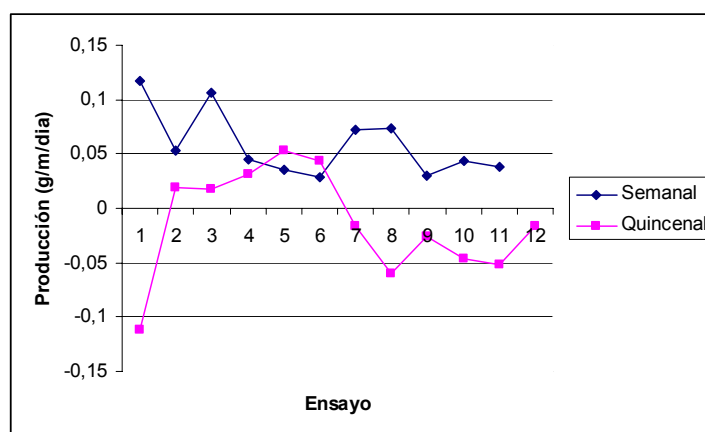


Figura 14. Producción obtenida en los diferentes ensayos desarrollados en el área de Taganga, para las dos épocas climáticas y tiempos de cosecha.



7.4. CULTIVO EN PUERTO LUZ

En este sector se registró un crecimiento diario (TCD) promedio de 1,42% ($\pm 6,41$) con rangos entre -27,42 y 22,17%, donde los mejores resultados, al igual que en Taganga, se reportan para los ensayos semanales durante la época seca mayor (6,56%), así mismo, los crecimientos mas bajos se presentaron durante la época lluviosa menor, donde los promedios fueron negativos (Figura 15).

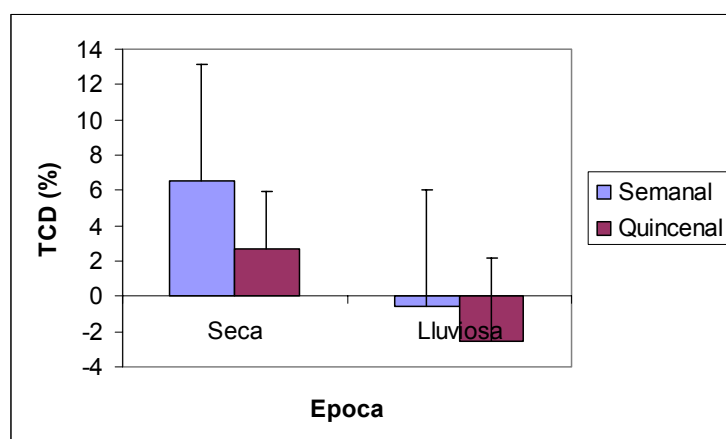


Figura 15. Tasa de crecimiento diario (TCD) promedio del alga para los ensayos de cultivo desarrollados en el área de Puerto Luz, considerando las dos épocas climáticas y los dos tiempos de cosecha trabajados.

La producción obtenida por línea fue en promedio de $0,069 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$ ($\pm 0,052$) con rangos entre -0,02 y $0,18 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$, presentándose los mejores resultados en las cosechas semanales de la época seca mayor, mientras que durante la lluviosa menor se registra pérdidas de biomasa en todos los ensayos de cosechas quincenales (Figura 16).

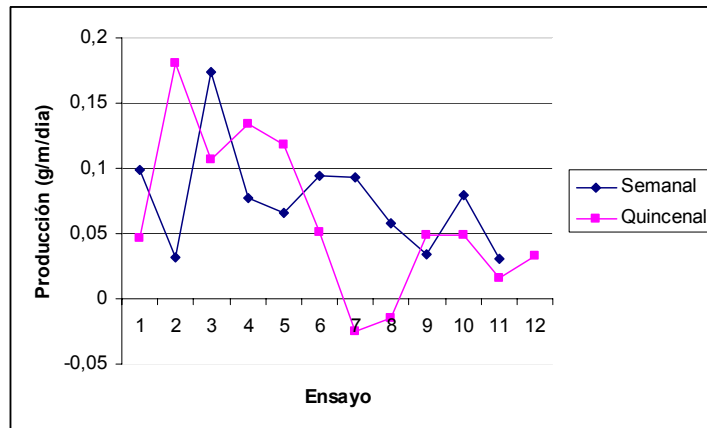


Figura 16. Cosechas obtenidas en los diferentes ensayos desarrollados en el área de Puerto Luz, para las dos épocas climáticas y tiempos de cosecha.

7.5. FACTORES ABIÓTICOS

Los parámetros fisicoquímicos tenidos en cuenta mostraron variaciones notorias a lo largo de los ensayos de cultivo. La temperatura varió entre 23 y 29°C, obteniéndose los valores más altos en la época lluviosa menor, durante mayo-junio (Figura 17). La salinidad presentó valores entre los 29 y 37 UPS, obteniendo los mayores valores en la época seca mayor, durante marzo (Figura 18). En las dos zonas el comportamiento de estos dos parámetros fue muy similar (Figuras 17 y 18) y en términos generales se observó una tendencia al aumento en la temperatura a medida que pasaban las semanas y una disminución de la salinidad, aunque en el caso de este segundo parámetro la tendencia no fue tan notoria ya que la mayoría de los valores se encontraban en 35 UPS, decreciendo notoriamente al final del estudio (Figura 18).

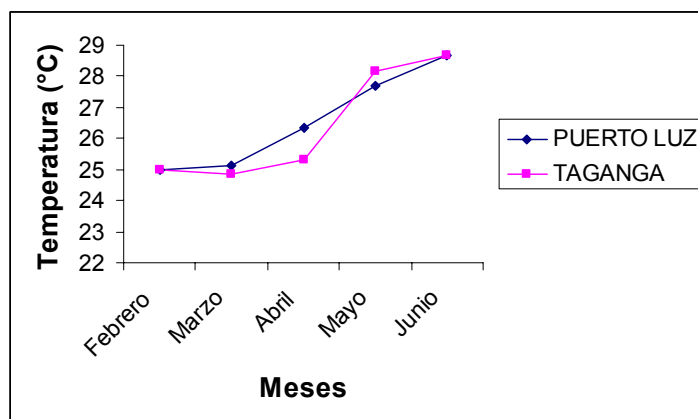


Figura 17. Comportamiento de la temperatura (promedios mensuales) a lo largo del estudio en las dos zonas trabajadas.

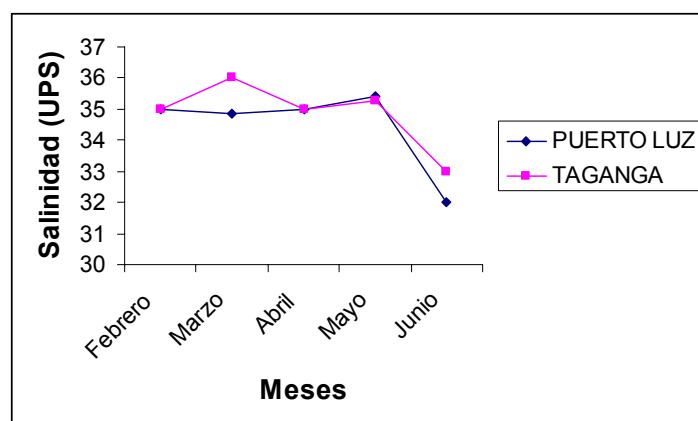


Figura 18. Comportamiento de la salinidad (promedios mensuales) a lo largo del estudio en las dos zonas trabajadas.

Otros parámetros considerados en el estudio como la transparencia, coeficiente de extinción de la luz y la tasa de sedimentación también variaron notoriamente. Se registraron valores de 2 m a 13 m de profundidad obtenida con el disco sechii (transparencia), equivalentes a valores entre 0,11 y 0,72 para el coeficiente de extinción. En términos generales los valores promedio de transparencia fueron muy similares en las dos zonas, con muy poca diferencia y evidenciándose una extinción de luz un poco mayor en Puerto Luz (Tabla 4)



Tabla 4. Mediciones de Transparencia y el correspondiente cálculo de extinción de luz para las dos zonas trabajadas.

TAGANGA			PUERTO LUZ		
Fecha	Transparencia	Coefficiente de extinción	Fecha	Transparencia	Coefficiente de extinción
03/03/2006	4,5	0,320	03/03/2006	8	0,180
08/03/2006	5	0,288	05/03/2006	5	0,288
10/03/2006	6	0,240	08/03/2006	9,5	0,152
17/03/2006	8	0,180	13/03/2006	13	0,111
23/03/2006	10	0,144	15/03/2006	12	0,120
31/03/2006	11	0,131	16/03/2006	9	0,160
06/04/2006	10	0,144	21/03/2006	8	0,180
20/04/2006	6	0,240	24/03/2006	13	0,111
26/04/2006	7	0,206	25/03/2006	5	0,288
03/05/2006	7	0,206	30/03/2006	10	0,144
09/05/2006	7	0,206	05/04/2006	7	0,206
16/05/2006	5	0,288	20/04/2006	7	0,206
19/05/2006	6	0,240	26/04/2006	4	0,360
23/05/2006	7	0,206	04/05/2006	4	0,360
27/05/2006	10	0,144	10/05/2006	7	0,206
30/05/2006	9	0,160	17/05/2006	2	0,720
03/06/2006	11	0,131	21/05/2006	5	0,288
06/06/2006	4	0,360	24/05/2006	7	0,206
13/06/2006	8	0,180	28/05/2006	8	0,180
-	-	-	31/05/2006	7	0,206
-	-	-	03/06/2006	5	0,288
-	-	-	06/06/2006	4	0,360
-	-	-	14/06/2006	8	0,180
PROMEDIO	7,45	0,211		7,28	0,239

- Indica muestreos que no se realizaron en la zona de Taganga, donde al iniciar los ensayos de cultivo no se tomaron mediciones tan frecuentes.

En el caso de la tasa de sedimentación, a partir de la prueba de Mann-Whitney se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$; $W = 189$) entre las dos zonas de estudio, siendo mayores los valores de este parámetro en Puerto Luz con un valor promedio de $0,88 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$ ($\pm 0,47$) en comparación con Taganga, donde la tasa de sedimentación fue en promedio $0,56 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$ ($\pm 0,24$) (Tabla 5).



Tabla 5. Valores de la tasa de sedimentación ($\text{g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$) para cada lugar incluyendo el promedio total durante todo el estudio.

Semana	TAGANGA	PUERTO LUZ
1	0,124	0,536
2	0,514	0,670
3	0,917	0,850
4	0,490	-
5	0,486	1,364
6	0,473	1,129
7	0,264	-
8	0,358	0,338
9	0,500	0,611
10	0,562	1,650
11	0,438	0,474
12	0,795	0,933
13	0,898	1,036
14	0,805	0,992
PROMEDIO	0,565	0,882

- Material perdido durante el muestreo.

Por otro lado la prueba a partir de rangos de Spearman reveló que no existe una correlación estadísticamente significativa ($p > 0,05$) entre los diferentes parámetros abióticos medidos con el crecimiento del alga y producción de los cultivos, sin embargo se observaron tendencias de aumento en TCD y producción en la época seca mayor cuando el agua estuvo mas transparente registrándose los mejores valores de extinción de luz (mayores), y la temperatura y salinidad estuvieron alrededor de los 25°C y 35 UPS respectivamente.

7.6. FACTORES BIÓTICOS

En los montajes para los ensayos de los cultivos se observó la presencia de varios organismos asociados alrededor en la columna de agua y adheridos sobre las estructuras de soporte, los cuales se trataron de eliminar al máximo para evitar el deterioro de los cabos y boyas. Se encontraron cirripedios (Crustacea) e hidroides (Cnidaria) (Figura 19B),



así mismo, se registró la presencia de algas filamentosas y peces juveniles de las familias Carangidae, Singnathidae, Aulostomidae (Figura 19A), Monacanthidae y Ostracidae, los cuales nadaban cerca de las bolsas donde se encontraban los fragmentos de *Hypnea musciformis* pero no se observó a estos individuos alimentándose en este lugar.

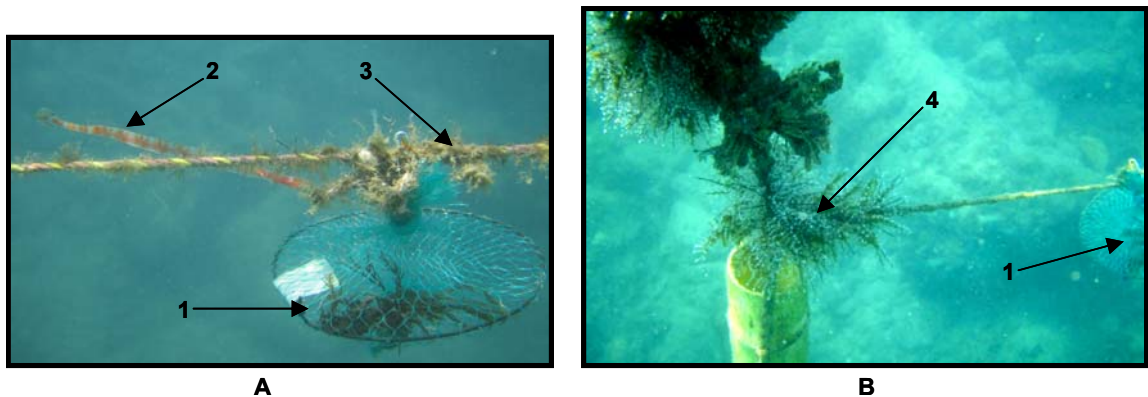


Figura 19. Fotos del cultivo especificando en **A)** la ubicación de *Hypnea musciformis* dentro de las bolsas con el rótulo correspondiente (1), un pez de la especie *Aulostomus maculatus* (2), algas filamentosas (3) y en **B)** los hidroides (4).

7.7. ESTADOS REPRODUCTIVOS

El análisis de los ejemplares seleccionados para la observación de estructuras reproductivas de las algas a ser sembradas a lo largo del experimento, permitió identificar individuos en las diferentes fases o estados reproductivos del ciclo de vida trifásico de esta alga como: gametofitos femeninos con cistocarpos (Figura 20A), tetrasporofitos (Figura 20B) y talos vegetativos. Durante todo el estudio el material colectado en la zona de Punta La Loma, presentó siempre ejemplares en los diferentes estados reproductivos mencionados anteriormente, los cuales se encontraron en diferentes proporciones que no fueron cuantificadas, sin embargo, se observó en general un mayor número de plantas cistocarpicas.

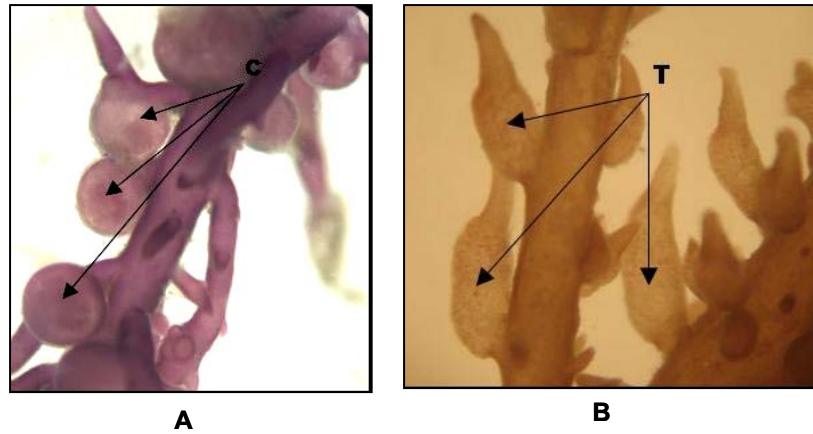


Figura 20. Ramas fértiles de diferentes talos a sembrar de *Hypnea musciformis* (Fotos tomadas al estereoscopio en aumento de 32X). **A)** ramas Cistocarpicas indicando los cistocarpos (C) y **B)** las ramas con tetrasporofitos (T).

También fue posible hacer observaciones al microscopio de preparaciones de algunos de los estados reproductivos identificando células como las tetrasporas (Figura 21).



Figura 21. Foto tomada al microscopio en aumento de 100X, indicando las tetrasporas (T) presentes en la rama tetrasporangial de *Hypnea musciformis*.



7.8. CARRAGENINA

A partir del análisis realizado con el material seco cosechado de los diferentes ensayos de cultivo, se obtuvo un porcentaje de rendimiento de carragenina entre 44,42% y 48,09%. Al analizar la carragenina extraída se obtuvo una fuerza gel entre 135 y 175 gr/cm² y una viscosidad entre 65 y 75 cps (Tabla 6).

Tabla 6. Peso seco (en gramos) de las cosechas realizadas de *Hypnea musciformis* en cada muestreo incluyendo el análisis del contenido y características de la carragenina extraída.

Muestra	Cosechas semanales		Cosechas quincenales	
	Puerto Luz	Taganga	Puerto Luz	Taganga
1	4,0514 gr	3,9023 gr	2,7381 gr	4,5280 gr
2	1,6812 gr	2,8201 gr	1,8894 gr	4,5261 gr
3	3,0325 gr	6,3389 gr	2,9672 gr	3,7055 gr
4	3,8708 gr	3,5054 gr	1,6461 gr	2,2636 gr
5	1,4716 gr	4,3496 gr	-	4,4328 gr
6	4,6892 gr	4,2516 gr	3,5459 gr	2,6443 gr
7	4,1717 gr	7,0531 gr	2,6313 gr	2,3791 gr
8	3,2096 gr	5,8132 gr	1,5448 gr	2,8847 gr
9	5,1471 gr	7,1160 gr	3,1102 gr	5,1348 gr
10	6,5392 gr	5,0538 gr	1,4780 gr	4,5216 gr
11	-	7,3253 gr	1,4867 gr	3,7252 gr
12	-	-	2,9869 gr	4,6248 gr
TOTAL	37,8643 gr	57,5293 gr	26,0246 gr	45,3705 gr
Materia Seca Lavada	18,2107 gr	26,3241 gr	12,3548 gr	20,1517 gr
% Rendimiento	48,09%	45,76%	47,47%	44,42%
Fuerza Gel	135 gr/cm ²	175 gr/cm ²	150 gr/cm ²	135 gr/cm ²
Viscosidad	65 cps	70 cps	65 cps	75 cps

- Material perdido durante la investigación.

La carragenina obtenida a partir de las muestras del alga seca presentó dificultad para desarrollar los procesos de filtración y blanqueo, siendo necesario la inversión de mas tiempo en estas etapas del procedimiento.



8. DISCUSIÓN

8.1. MANTENIMIENTO DE LOS MONTAJES DE CULTIVO

En cuanto a los materiales usados para construir y mantener los módulos de cultivo en donde se llevaron a cabo los ensayos de *Hypnea musciformis*, se obtuvieron muy buenos resultados ya que no presentaron deterioro que requiriera su reemplazamiento o arreglo durante los 5 meses de desarrollo del cultivo. Igualmente, estos resultados se deben, también al buen mantenimiento del cultivo que permite conservar las estructuras sobre las cuales se desarrolla. En este último caso se debe considerar dentro de las tareas operativas de conservación, además de la limpieza frecuente del material sembrado, la sustitución de algas en mal estado sanitario o fisiológico, así como la resiembra del material perdido, tareas no realizadas en este estudio pero que son fundamentales ya que permiten obtener mayores crecimientos y cosechas. (Areces, 1995).

Dentro de los cambios morfológicos observados durante el estudio se encuentra la despigmentación, que es muy común observarla en este tipo de estudios tal como ocurrió en los ensayos de cultivo desarrollados por Schenkman (1989) y Lapointe *et al.* (1976). De manera similar, los resultados acá reportados concuerdan con los de Berchez & Oliveira (1989) quienes manifiestan un mayor grado de blanqueamiento del talo en *Hypnea musciformis* al permanecer durante un mayor tiempo en el cultivo. Este cambio en la coloración se relaciona con el catabolismo de la ficoeritrína, el cual se ve afectado por factores como la limitación por nitrógeno, reduciendo la habilidad de captar luz (Lobban & Harrison, 1997 En: Bravin & Yoneshigue-Valentin, 2002). La despigmentación también esta relacionada con la intensidad lumínica a la cual se encuentra sometida el alga, sin embargo, en este trabajo no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de coeficiente de extinción de la luz que permitieran intuir algún tipo de influencia por parte de este factor. Pese a esto es importante mencionar que la despigmentación se produce por una alta irradiación solar recibida por el alga, lo cual se puede evitar en parte haciendo uso de una polisombra de 45% de absorbancia que



permite con su cobertura que la planta mantenga su fuerte pigmentación, sin embargo los resultados respecto a las cosechas pueden no ser muy favorables (Alveal, 1990; Berchez & Oliveira, 1989) y pudiendo ser una técnica complicada de llevar a cabo en los lugares donde se desarrollaron los cultivos de esta investigación.

8.2. FACTORES ABIÓTICOS

Las condiciones fisicoquímicas del agua medidas en este estudio, como temperatura, salinidad y transparencia (profundidad del disco secchi) que fueron de 23-29 °C, 29-37 UPS y 0,565-0,882 g.m⁻¹.día⁻¹ respectivamente, se encuentran dentro de los rangos reportados por autores como Márquez (1982b) y Bula-Meyer (1985), para la región de Santa Marta en general. Así mismo los resultados obtenidos para cada lugar de estos factores abióticos concuerdan con los valores mencionados por Franco-Herrera (2005) para la Ensenada de Gaira (donde se ubica Puerto Luz) y SILAKANGAMA (2005) para Taganga.

Es importante mencionar que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las dos zonas para cada uno de los factores abióticos medidos, a excepción de la tasa de sedimentación, la cual fue mucho mayor en Taganga. Estos resultados se deben a que las dos zonas (Taganga y Puerto Luz) se encuentran dentro de la región de Santa Marta, que en su totalidad esta sometida bajo un régimen climático bimodal consecuencia de los desplazamientos de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) tal como se menciona en el procedimiento del presente trabajo (ver numeral 6.1.1.).

8.3. COMPARACIÓN ENTRE LUGARES Y RELACIÓN CON FACTORES ABIÓTICOS

Los valores obtenidos en términos de crecimiento del alga y producción de los diferentes ensayos de cultivo, revelan en general mejores resultados para los ensayos de cultivo desarrollados en Taganga (Tablas 2 y 3), lo cual puede ser debido al grado de sedimentación observado en cada zona. Como se aprecia en la tabla 5, la tasa de



sedimentación promedio reportada a lo largo del estudio es mayor en el área de Puerto Luz, lo cual puede explicar en parte que los resultados en esta zona no hayan sido tan favorables como los observados en Taganga, donde el grado de exposición a las olas y agitación del agua son mayores e influyen eliminando parte de las partículas sedimentadas sobre el alga, las cuales son las causantes de menores rendimientos en los cultivos (Bravin & Yoneshigue-Valentin, 2002; Oliveira & Berchez, 1987).

Es importante mencionar la cercanía de aguas continentales provenientes del río Gaira y la bruma del río Magdalena que se caracterizan por el aporte de sedimentos y material en suspensión que afectan mas, por ubicación geográfica, a la zona de Puerto Luz (Franco, 2005). En este lugar el movimiento del agua no es muy fuerte, siendo un factor determinante en la baja producción de biomasa en medios naturales (Reis & Yoneshigue-Valentin, 2000), en cultivos *in vitro* (Berchez *et al.*, 1993) y podría serlo también en ensayos de cultivo en medio natural.

Factores como la temperatura, salinidad y transparencia del agua, no variaron notoriamente entre los dos sitios donde se realizaron los ensayos de cultivo, por lo tanto no permiten explicar las diferencias obtenidas en los resultados de crecimiento diario y producción de los cultivos para Taganga y Puerto Luz. Sin embargo, es importante mencionar que estos factores ambientales juegan un papel importante en el crecimiento, reproducción y distribución de las macroalgas marinas en general (Loaban & Harrison, 1994 En: Yokoya *et al.*, 1999).

En este estudio no fue posible correlacionar estadísticamente los factores ambientales con las variaciones observadas en las tasas de crecimiento diario y producción (cosechas) obtenidas en los diferentes ensayos de cultivo, posiblemente por la deficiencia en el número de datos registrados de los parámetros fisicoquímicos medidos o debido al comportamiento mismo de los factores ambientales (Lapointe *et al.*, 1976). Otros autores como Faccini & Berchez (2000) mencionan que no hay correlación con ningún factor medido en su estudio desarrollado en Brasil; así mismo ocurre con Berchez *et al.* (1993) y Lapointe *et al.* (1976) en ensayos de cultivo desarrollados en el mismo país, quienes no pudieron explicar sus resultados a partir de variaciones en las condiciones fisicoquímicas del agua.



Contrario a esto, varios estudios manifiestan una relación clara entre algunos de los factores abióticos y los resultados obtenidos en ensayos de cultivo desarrollados con *Hypnea musciformis*, como el de Ganesan *et al.* (2006) donde se manifiesta que la producción de biomasa esta correlacionada negativamente con la salinidad, Oliveira & Berchez (1987) mencionan lo mismo para la temperatura, mientras que autores como Wallner *et al.* (1992) observaron una correlación positiva con la intensidad lumínica. Ninguna de estas afirmaciones es posible corroborarlas o desmentirlas a partir de los resultados obtenidos en este estudio. Sin embargo, se pudieron evidenciar algunas tendencias que se aproximan y se relacionan con lo manifestado por estos autores, al observarse mejores resultados en Taganga, donde el coeficiente de extinción de luz y la sedimentación fueron menores.

8.4. COMPARACIÓN ENTRE ÉPOCAS Y RELACIÓN CON FACTORES ABIOTICOS

Teniendo en cuenta que *Hypnea. musciformis* tolera amplios rangos de temperatura del agua, salinidad e intensidad lumínica (Dawes *et al.*, 1976) y considerando los resultados de este estudio, donde no se obtuvo ningún tipo de correlación entre alguna de las variables medidas y el crecimiento y producción del alga en el cultivo, se puede decir que ninguno de estos factores por si solo puede explicar las diferencias obtenidas entre las épocas climáticas (seca mayor – lluviosa menor) consideradas en cada lugar. Sin embargo, en otros estudios (Bravin & Yoneshigue-Valentin, 2002) se ha evidenciado que la época tiene influencia sobre el crecimiento de los fragmentos de esta especie en ensayos de cultivo.

Como se observa en la figura 17, el comportamiento de la temperatura a lo largo del estudio estuvo dentro de los límites de tolerancia sobre los cuales *H. musciformis* crece normalmente tal como lo mencionan varios autores (Bravin & Yoneshigue-Valentin, 2002; Faccini & Berchez, 2000; Reis & Yoneshigue-Valentin, 2000; Schenkman, 1989; Guist *et al.*, 1982), quienes reportan temperaturas entre los 18 y 25 °C como el rango óptimo para el desarrollo del alga. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, los valores observados hacia el final de estudio, correspondientes a la época lluviosa menor, podrían explicar en parte porque las tasas de crecimiento y cosechas durante esta época fueron menores en



las dos zonas, considerando la existencia de valores de hasta 29 °C, que es muy cercano al límite de desarrollo del alga reportado por Oliveira & Berchez (1987) de 30 °C, donde se presentan bajos rendimientos del alga. Desde el punto de vista fisiológico, la elevación de la temperatura acelera la marcha de los procesos biológicos, sin embargo esto está sujeto a las condiciones que soporte la planta, ya que al exceder los límites de la misma, los procesos fisiológicos se deprimen, la actividad fotosintética disminuye progresivamente, llegando incluso a la muerte del organismo por desorganización de ciertos procesos bioquímicos (Alveal, 1990), lo cual pudo ser la causa de las bajas tasas de crecimiento en algunos de los fragmentos sembrados de *Hypnea musciformis*, mas evidenciado al final del experimento (época lluviosa menor).

Pese a que autores como Díaz-Pulido & Garzón-Ferreira (2002) indican que existe una correlación negativa entre la temperatura y la cobertura algal en el área de Santa Marta, no se puede atribuir las diferencias observadas entre las dos épocas trabajadas únicamente al incremento de la temperatura, ya que existen otros factores medidos en el estudio como la salinidad y disponibilidad de luz, y otros no considerados como el movimiento del agua y disponibilidad de nutrientes los cuales también juegan un papel importante en el desarrollo macroalgal en medios naturales y que pueden influenciar el comportamiento y resultados en cultivos de *Hypnea musciformis* (Berchez & Oliveira, 1989).

Considerando la salinidad, la cual presentó un comportamiento muy similar durante todo el estudio, estando cercano a los 35 UPS, no se puede establecer que haya tenido algún efecto sobre las diferencias obtenidas entre las épocas climáticas, sin embargo es importante aclarar que autores como Guist *et al.* (1982) mencionan que los mejores resultados en cultivos de *Hypnea musciformis* se obtienen con salinidades alrededor de 35 UPS en promedio, y que este factor puede estar correlacionado negativamente con la producción de biomasa (Ganesan *et al.*, 2006) e incluso la tasa fotosintética puede disminuir ante salinidades muy bajas (Alveal, 1990).

Otro factor importante es la intensidad lumínica que disminuye con la profundidad. Su disponibilidad determina la producción de biomasa y la tasa de crecimiento en los cultivos macroalgales (Ganesan *et al.*, 2006). En este trabajo no se observó variaciones



estadísticamente significativas entre los valores obtenidos en el coeficiente de extinción de luz para cada época, sin embargo se observó una tendencia de mayores valores de transparencia durante la época seca, donde se presentaron los mejores resultados. Para *Hypnea musciformis*, autores como Oliveira & Berchez (1987), Berchez & Oliveira (1989), Lapointe *et al.* (1976) manifiestan la importancia de buenas intensidades lumínicas para su buen desarrollo y crecimiento en los cultivos; incluso autores como Wallner *et al.* (1992) y Reis *et al.* (2003) indican haber obtenido correlaciones positivas entre la tasa de crecimiento con la intensidad lumínica y con la preferencia por zonas intermareales (Einav *et al.*, 1995) de poca profundidad respectivamente.

Lo anterior se relaciona con la profundidad del agua, que tiene un gran efecto en la cantidad de luz disponible y la producción de biomasa de *H. musciformis* (Ganesan *et al.*, 2006; Berchez *et al.*, 1993). Autores como Guist *et al.* (1982) manifiestan que los mejores resultados en los ensayos de cultivos se obtienen a nivel superficial, contrario a lo registrado por Reis & Yoneshigue-Valentin (2000) que reportan mejores resultados a profundidades de 40 a 50 cm debajo de la superficie, siendo esta la misma profundidad usada en este estudio. En términos generales, el mayor crecimiento se obtiene cerca de la superficie y disminuye con la profundidad, probablemente debido a que esta alga requiere altas intensidades luminosas para su desarrollo (Oliveira & Berchez, 1987) y debido también a condiciones intrínsecas pertenecientes a las rodofíceas, como soportar bien las condiciones de irradiación lumínica, tanto en calidad como en cantidad (Yoneshigue-Valentin *et al.*, 1995 En: Bravin & Yoneshigue-Valentin, 2002).

Por otro lado, la disponibilidad de nutrientes es indudablemente uno de los factores primarios que regulan la biología de las algas y por esta razón limita la tasa de crecimiento y productividad, y en algunos casos puede controlar el contenido bioquímico, reproducción, desarrollo, morfología y contenido de carragenina (Alveal, 1990; Guist *et al.*, 1982). En el caso particular de esta investigación, no se tuvieron en cuenta los nutrientes, sin embargo se recomienda para este tipo de estudios, hacer un seguimiento muy continuo de ellos en las zonas de cultivo para conocer mejor su relación con los aspectos productivos de interés.



Es importante mencionar que el proceso de surgencia que se presenta durante la época seca en la región, tiene gran importancia principalmente en la resuspensión de nutrientes desde las capas profundas hacia áreas superficiales, ocasionando así alta productividad en las zonas costeras, evidenciándose también una disminución de la temperatura (Franco-Herrera, 2005; Bula-Meyer, 1985). Los nutrientes provenientes de afloramientos permiten aumentar el crecimiento de las algas (Lapointe *et al.*, 1976) y en el caso del presente estudio puede ser uno de los factores causantes de resultados mas favorables en crecimiento y producción durante la época seca para las dos áreas trabajadas. De acuerdo con lo mencionado por Bravin & Yoneshigue-Valentin (2002), *Hypnea musciformis* crece mas en las poblaciones naturales de Brasil durante las épocas de surgencia. Para la región de Santa Marta, según lo reportado por Díaz-Pulido & Garzón-Ferreira (2002) y Bula-Meyer (1985) existe una mayor cobertura y una mayor riqueza macroalgal en el durante la época seca mayor como consecuencia del fenómeno de surgencia que se presenta.

8.5. COMPARACIÓN ENTRE LOS PERIODOS DE COSECHA

Considerando los dos periodos de cosecha trabajados (semanal y quincenal), se obtuvieron en ambas áreas de estudio mejores resultados en los ensayos semanales, presentando mayores tasas de crecimiento y mayores cosechas (producción). En cuanto a las tasas de crecimiento, estos resultados concuerdan con lo reportado por Berchez & Oliveira (1989) quienes manifiestan que los crecimientos en líneas verticales son mayores a los 7 días y van disminuyendo con el paso del tiempo. Contrario ocurre con la producción, la cual es mayor a los 30 días y presenta después de este periodo decrecimientos en la cosecha, blanqueamiento y fragilidad del talo (Berchez *et al.*, 1993; Berchez & Oliveira, 1989; Oliveira & Berchez, 1987). La razón por la cual se presentan mejores resultados en menores tiempos de cultivo puede estar relacionado con la capacidad del alga para adaptarse al nuevo sistema en el que se encuentra, ya que durante los primeros días, el alga soporta mejor las condiciones diferentes a las del medio en el que se encontraba y a medida que pasa el tiempo ella misma genera una respuesta que en este caso podría ser la disminución de su tasa de crecimiento, como consecuencia



de la influencia de factores como por ejemplo la sedimentación que con el paso del tiempo es mayor su efecto sobre el alga pese a que esta sea limpiada periódicamente.

8.6. COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS

En esta investigación se observó un promedio de producción de biomasa húmeda de $0,044 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$ la cual es muy baja al compararla con otros ensayos de cultivo de *Hypnea musciformis* desarrollados sobre cuerdas suspendidas como los de Berchez *et al.* (1993) y Oliveira & Berchez (1987), donde los valores máximos de producción son de $9,83 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$ y $6,53 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$ y el promedio de esta fue de $1,4 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$ y $3,36 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$ respectivamente. Así mismo, los valores de estos estudios se encuentran cercanos a la producción reportada recientemente en India por Ganesan *et al.* (2006) donde el valor promedio fue de $5,37 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$. Incluso existen estudios que manifiestan producciones mucho más elevadas como los ensayos de cultivo con sustrato artificial desarrollados por Berchez *et al.* (1993) con valores máximos de $18 \text{ g.m}^{-1}\text{día}^{-1}$, así como los reportes de cosechas entre $37,5$ y $104,16 \text{ g.m}^{-2}\text{día}^{-1}$ para cultivos desarrollados en tanques (Lapointe *et al.*, 1976). Teniendo en cuenta las apreciaciones anteriores, se observa que, en términos de producción, los resultados obtenidos en este trabajo son deficientes siendo necesario desarrollar más investigaciones y experimentos con diferentes tipos de métodos de cultivo, diferentes sustratos como naturales y artificiales, en diferentes lugares y épocas en el año, que permitan establecer si realmente el cultivo de esta alga es rentable para desarrollarlo con fines comerciales.

La tasa de crecimiento diario (TCD) por fragmento cultivado de *Hypnea musciformis*. que fue en promedio de $3,39\%$ diario ($\pm 6,35$) (con valores de hasta $22,17\%$ diario), esta dentro del rango reportado por otros estudios como el de Wallner *et al.* (1992) llevado a cabo en cuadros flotantes, donde los valores de TCD estuvieron entre el $1,93$ y el 10% . En otros trabajos con metodologías similares a la trabajada en esta investigación (líneas flotantes) como los de Lapointe *et al.* (1976) y Schenkman (1980 En: Wallner *et al.*, 1992) quienes registran valores promedio de $4,8\%$ y de 6% respectivamente, son relativamente cercanos a los resultados obtenidos en el presente estudio. Sin embargo, están reportados valores mucho mayores, por ejemplo: entre 7.6 y 10.9% por Ganesan (2006),



de 15,2 % en promedio por Schenkman (1989) y de 23,6% en promedio por Oliveira & Berchez (1987). Incluso para este ultimo estudio se reportaron TCD de 56% en cultivos de *H. musciformis* desarrollados como epífita de un alga del género *Sargassum*.

Si se tiene en cuenta otros tipos de cultivo, como los desarrollados en tanques, los resultados son mucho mejores que los obtenidos en esta investigación, de acuerdo con lo reportado por Haines (1975 En: Berchez & Oliveira, 1989) donde la TCD es de 12% en promedio; incluso existen valores de crecimiento máximo alrededor del 20% obtenidos por Bravin & Yoneshigue-Valentin (2002) y Guist *et al.* (1982) que se aproxima al mayor valor observado en este estudio de 22%.

Este trabajo arrojó mejores resultados que los obtenidos por Schenkman (1989) en Brasil, en cultivos en medio natural con ramas de poliestireno, donde el rango de crecimiento fue de 0,48% a 1,53%. Así mismo Oliveira *et al.* (1989) reportó unos resultados poco favorables en ensayos en tanques, donde la TCD estuvo entre -0,4% y -3,2% existiendo siempre una perdida de material y siendo un rango en valores mucho menores que los obtenidos en esta investigación.

La tasa de crecimiento promedio (3,39% diario) obtenida en este estudio se encuentra dentro del rango reportado para otras especies de macroalgas de interés comercial cultivadas con éxito en varios lugares del mundo. Dentro de estas se pueden mencionar las agarófitas del género *Gracilaria*, con especies como *G. Chilensis*, *G. edulis* y *G. parvispora* las cuales tienen una TCD promedio de 1,4%, 2,64 – 4,6% y 1,7 – 3% respectivamente (Pickering *et al.*, 1995; Kaladharan *et al.*, 1996; Glenn *et al.*, 1996; Nelson *et al.*, 2001). Igualmente los ensayos desarrollados en esta investigación en términos de crecimiento con *Hypnea musciformis* se encuentran dentro de los rangos reportados para especies carragenófitas de gran importancia comercial y muy cultivadas como *Kappaphycus alvarezii*, para la cual autores como Hurtado *et al.* (2001), Qian *et al.* (1996) y Samonte *et al.* (1993) obtuvieron rangos de crecimiento diario de 2,3 – 4,2%, 1 – 6% y 1,24 – 2,04% respectivamente.

En este trabajo se observó una tasa de conversión entre peso seco y peso húmedo para *Hypnea musciformis* de 11%, la cual es muy similar a los resultados reportados por



Lapointe *et al.* (1976) en tanques de 12% y a la de Oliveira & Berchez (1987) en cultivos lineales como los desarrollados en este estudio quienes obtuvieron una conversión del 13%. Contrario a esto existen valores superiores como el de Wallner *et al.* (1992) quien trabajó un cultivo con la misma alga usando cuadros flotantes obteniendo una conversión del 16%. Considerando la relación de peso seco / peso húmedo de *H. musciformis* con fines de conversión para el tratamiento poscosecha y comercialización, se tendría una relación 1:9 que en términos generales es buena.

Considerando las diferencias y concordancias con los diferentes estudios realizados sobre el cultivo de *Hypnea musciformis*, se observa que los resultados obtenidos en esta investigación son buenos en términos de tasa de crecimiento diario, indicando que los cultivos de esta alga carragenofita para la región de Santa Marta podrían ser factibles a partir de la metodología empleada, sin embargo, las muy bajas producciones acá reportadas, manifiestan la necesidad de realizar una mayor investigación en el tema y desarrollar más ensayos que permitan establecer con claridad si es posible o no la maricultura con *H. musciformis* en esta región y argumentar correctamente la viabilidad de desarrollar este tipo de cultivos a una escala comercial. Para esto es indispensable considerar otros lugares para el desarrollo de cultivos, así como otro tipo de sistemas de cultivo como por ejemplo las líneas suspendidas con sustratos artificiales o las redes flotantes, usadas por Berchez *et al.* (1993) y Wallner *et al.* (1992) respectivamente, con buenos resultados en Brasil.

Para la obtención de mayores biomásas en la producción se podría considerar el uso de algas del género *Sargassum* como principal sustrato de fijación, el cual generó buenas producciones de *Hypnea musciformis* en ensayos de cultivo desarrollados por Berchez *et al.* (1989) en Brasil. Igualmente con el fin de aumentar las producciones a partir del sistema de cultivo empleado en este estudio, se podría considerar el aumento en los pesos del material a sembrar en cada una de las bolsas y/o aumentar el número de bolsas por línea de cultivo.



8.7. FACTORES BIÓTICOS

La presencia de organismos como algas filamentosas, cirripedios (Crustacea), hidroides (Cnidaria) y peces (familias Carangidae, Singnathidae, Aulostomidae, Monacanthidae y Ostracidae) en las diferentes estructuras del cultivo y cerca de las algas revela la importancia y necesidad de seguir un control continuo del cultivo para evitar que este tipo de organismos alteren los resultados finales de los ensayos. Este tipo de organismos han sido también reportados en Brasil por autores como Oliveira & Berchez (1987), en sus ensayos de cultivo de líneas suspendidas entre 1,5 y 3,5 m de profundidad, sobre las estructuras flotantes.

También es importante mencionar la presencia de moluscos y anfípodos sobre el material de siembra, lo cual ha sido reportado por autores como Schenkman (1989) y Reis *et al.* (2003), quienes mencionan que estos individuos son los mayores herbívoros de *Hypnea musciformis* en poblaciones naturales; sin embargo, en este estudio estos organismos probablemente no tienen efecto sobre los resultados, ya que las algas fueron limpiadas de todo tipo de epifitos (antes de sembrar y durante el cultivo) y en los materiales cosechados de los cultivos no se observó la presencia de los mismos. Respecto a los peces no se observó, durante la fase de campo del estudio, que afectaran el material sembrado, y tampoco hubo evidencias de herbivoría sobre el material cosechado, muy probablemente por encontrarse dentro de la bolsa de polipropileno. Sin embargo, es importante mencionar que estos individuos, junto con los erizos, son los mayores herbívoros de macroalgas en los stocks naturales (Faccini & Berchez, 2000) y en los cultivos, ocasionando decrecimientos de biomasa (Wallner *et al.*, 1992; Oliveira & Berchez, 1987), al punto que los peces pueden reducir las cosechas hasta en un 100%; en este caso, la protección con redes (como en este trabajo) puede ser un método preventivo y efectivo ante este problema (Berchez, 1990).



8.8. ESTRUCTURAS REPRODUCTIVAS

La presencia de diferentes fases reproductivas del ciclo de vida de esta alga durante todo el estudio no permite establecer con claridad algún tipo de relación con el lugar o época climática durante la cual se recolectó el material a sembrar en los cultivos desarrollados. Pese a que no se evaluaron cuantitativamente los diferentes estados, siempre se observó la presencia de mayor cantidad de plantas cistocárpicas, las cuales pueden indicar la existencia de buenas condiciones de luz tal como lo manifiesta Wallner *et al.* (1992) y mayor persistencia de las algas de la zona de colecta en este estado productor de carposporas. Este resultado difiere de lo obtenido por Schenkman, (1989) quien encontró comúnmente y durante todo el año individuos de *Hypnea musciformis* en la fase tetrasporofítica en las costas de Brasil. Este estado tetrasporofítico fue observado en este trabajo, sin embargo no fue muy representativo. Respecto a los fragmentos vegetativos, encontrados comúnmente en el estudio, se consideran indicadores de condiciones no favorables (Wallner *et al.*, 1992) o simplemente se presentan debido a que dichos talos están pasando por una fase juvenil infértil, indispensable en cualquier ciclo de vida. Así mismo las diferencias en proporción entre fragmentos vegetativos y reproductivos puede estar relacionada con factores ambientales como el tipo sustrato, la exposición al oleaje, así como la frecuencia a la emersión e inmersión en las costas (Reis & Yoneshigue-Valentin, 2000).

Considerando este punto de la investigación que no permite observar relación alguna entre los resultados obtenidos en los cultivos y la presencia de determinada fase reproductiva, se ve la necesidad de hacer estudios sobre la dinámica de las poblaciones naturales de *Hypnea musciformis* en la región, como la del sector de Punta Gloria donde fueron colectadas las algas para este estudio, siendo de suma importancia, en términos productivos, conocer la fase o estado del ciclo de vida del alga para obtener mejores resultados, ya que puede ser mayor en un alga joven que un alga que ya ha liberado sus esporas o gametos y se encuentra en estado senescente. También es importante conocer la dinámica de la especie a través del tiempo para reconocer el óptimo periodo de recolecta de material a sembrar y obtener mejores resultados a largo plazo y a su vez conservar las poblaciones algales.



8.9. CARRAGENINA

Considerando los rendimientos de carragenina obtenidos en los diferentes ensayos de cultivo de *Hypnea musciformis* realizados (Tabla 6), se observa que son buenos en comparación con otros estudios desarrollados en el Caribe Colombiano como el de Rozo (2006) que arrojó un rango entre 18 y 21% de rendimiento para algas de esta misma especie pertenecientes a poblaciones naturales de la Guajira. Otros estudios como los de John & Asare (1975 En: Guist *et al.*, 1982) en Ghana y los de Solimabi *et al.* (1975 En: Guist *et al.*, 1982) en la India, donde el rango encontrado fue de 25 - 43% de contenido de carragenina en poblaciones naturales, siguen siendo menores a los rendimientos obtenidos del material producido por los ensayos de cultivo de esta investigación. Así mismo se tiene conocimiento de porcentajes de rendimiento del 18% en promedio en cultivos experimentales en Brasil (Wallner *et al.*, 1992) y del 30% en poblaciones naturales de *H. musciformis* ubicadas en la India (Greer *et al.*, 1984), que también son valores menores a los rendimientos de este estudio.

Los porcentajes de rendimiento obtenidos en este trabajo, entre el 44 y 48%, son muy cercanos a los manifestados por autores como Saito & Oliveira (1990 En: Faccini & Berchez, 2000) en Brasil y Guist *et al.* (1982) en Florida quienes reportaron un rendimiento promedio de carragenina del 40% en cultivos en medio natural. Así mismo concuerdan con los resultados de Rozo (2006) con rendimientos entre 44 y 47% para las praderas naturales de Santa Marta (Colombia). Existen también reportes superiores a los porcentajes obtenidos en esta investigación, como los de Schenkman (1989) con rendimientos entre el 48 y 66% en las praderas naturales de las costas de Brasil.

Aunque los rendimientos de *Hypnea musciformis* reportados en este estudio son favorables, siguen siendo menores a los reportes existentes para otras especies carragenófitas como *Chondrus crispus* donde se presentan rendimientos del 50% (Chopin & Wagey, 1999) y *Kappaphycus alvarezii*, donde los porcentajes de contenido de carragenina respecto al alga seca trabajada son del 40,7% (Rozo, 2006) hasta el 82% (Muñoz *et al.*, 2004).



Considerando el lugar de cultivo, se observa que los mejores resultados en términos de rendimiento de carragenina se obtuvieron en Puerto Luz, y respecto a los tiempos de cultivo no se obtuvo diferencias muy notorias para ninguna de las dos zonas trabajadas (Tabla 6). La diferencia en los resultados reportados para Taganga y Puerto Luz se puede deber al estado nutricional de las plantas, que juega un papel importante afectando el contenido de sus coloides como la carragenina; el aporte nutricional está muy relacionado con el suministro de nitrógeno que recibe la planta (Lapointe *et al.*, 1976), el cual puede ser más favorable en Puerto Luz debido al mayor aporte fluvial existente. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los resultados, en términos generales, en cuanto a producción y TCD fueron mejores en Taganga.

La fluctuación en los niveles de ficocoloides como la carragenina, que en el caso de la presente investigación no fue muy grande, normalmente ocurre en plantas tropicales en habitats intermareales con variaciones en temperatura e intensidad lumínica (Mshigeni, 1979 En: Wallner *et al.*, 1992) y aunque no fue posible obtener los resultados diferenciando las dos épocas climáticas trabajadas, es importante mencionar que para *Hypnea musciformis* pueden existir variaciones en el contenido de carragenina de acuerdo a la estación climática en la que se encuentre, tal como lo ha mencionado Schenkman, (1980 En: Wallner *et al.*, 1992) para las costas de Brasil.

Los porcentajes de rendimiento de carragenina que fueron un poco más altos en los ensayos semanales, concuerdan con las mayores tasas de crecimiento reportadas en este estudio (Tabla 3). Lo anterior difiere de lo manifestado por Guist *et al.* (1982) quien reporta que el contenido de *kappa* carragenina del alga *Hypnea musciformis* cultivada es inversamente proporcional a su tasa de crecimiento, presentándose a mayores TCD menores porcentajes de carragenina.

Considerando propiedades como la viscosidad y fuerza gel (Tabla 6), se observa que la carragenina extraída de los ensayos de cultivo es de calidad media en términos generales. Los valores de viscosidad (entre 65 y 75 cps) acá reportados son mayores a los obtenidos en estudios similares como el de Wallner *et al.* (1992) donde los resultados fueron entre 35 y 43 cps y se encuentra dentro del rango manifestado por Porto (2006)



para las carrageninas disponibles comercialmente que presentan viscosidades que varían de 5 a 800 cps.

Esta viscosidad es dependiente del tipo de carragenina, presencia de otros solventes y peso molecular, así como puede estar relacionada con el estado fisiológico del alga que depende de los factores externos y sus variaciones (Porto, 2006; Wallner *et al.*, 1992). En este caso no se observan variaciones notorias en la viscosidad, lo cual podría indicar que en el cultivo no existe un estrés ambiental particular en alguno de los lugares o épocas donde se desarrollaron los ensayos, que haya causado variaciones en la calidad de la carragenina obtenida, pese a esto los valores son menores a los reportados por Rozo (2006) con viscosidades de 100 cps para muestras de *Hypnea musciformis* de la región de Santa Marta.

La fuerza gel (relacionada con la formación de una estructura de doble hélice por los polímeros de la carragenina), en este ensayo presentó valores entre 135 y 175 gr/cm² que se encuentran dentro del rango de 100 a 350 gr/cm² para carrageninas comerciales, reportado por Porto (2006). Pese a esto, los valores obtenidos en este estudio tienden a ser bajos considerando que el tipo de carragenina de *Hypnea musciformis* (tipo *kappa*) tiene la capacidad de formar geles fuertes con valores de fuerza gel de 900 gr/cm² (Rozo, 2006); esto se puede deber posiblemente a la presencia de una alta concentración de cationes (Porto, 2006; McHugh, 2003).



9. CONCLUSIONES

Los buenos resultados obtenidos en términos de Tasa de Crecimiento Diario (TCD) y conversión de carragenina sugieren que los cultivos en líneas superficiales de *Hypnea musciformis* en la región de Santa Marta podrían ser factibles, con miras en una aplicación comercial, sin embargo, la baja producción obtenida manifiesta la necesidad de continuar con ensayos experimentales que permitan conocer mejor el comportamiento de esta especie en diferentes sistemas de cultivo y en una mayor área cultivada para obtener un incremento de biomasa en las cosechas.

Aunque no se observó ninguna correlación estadística entre los factores abióticos medidos y los indicadores biológicos tenidos en cuenta en el cultivo de *Hypnea musciformis*, factores como una baja sedimentación, temperatura y alta transparencia del agua (observados en la época seca), podrían tener influencia en mejores tasas de crecimiento diario y producción de biomasa.

Existen mejores condiciones para el desarrollo del cultivo de *Hypnea musciformis* en el área de Taganga, en relación a Puerto Luz, debido posiblemente a la menor tasa de sedimentación observada en esta zona y mayor movimiento del agua.

Los ensayos de cultivo sobre líneas flotantes desarrollados con *Hypnea musciformis* en las áreas de Puerto Luz y Taganga presentaron los mejores resultados, en términos de producción y tasas de crecimiento diario, en las cosechas semanales durante la época seca.

A partir del material seco obtenido de los ensayos de cultivo de *Hypnea musciformis*, se obtuvo un muy buen porcentaje (producción) de carragenina ($\geq 44.42\%$), siendo este mayor o equivalente al obtenido en otros estudios desarrollados con la misma especie en Colombia y otros países, proveniente tanto de praderas naturales como de cultivos.



Se observaron varios organismos, como algas filamentosas, cirripedios e hidroides, epifitos sobre los módulos de cultivo, y peces juveniles cerca al material sembrado; sin embargo, no se estableció si estos generaron algún efecto sobre el material sembrado en los ensayos de cultivo desarrollados.

Durante todo el estudio se observó la presencia de diferentes estados reproductivos del ciclo de vida trifásico de esta alga (carposporofitos y tetrasporofitos) en el material de *Hypnea musciformis* utilizado para la siembra, sin embargo no se pudo establecer alguna relación de cada uno de estos estados con los resultados obtenidos en los ensayos de cultivo desarrollados.



10. RECOMENDACIONES

Es indispensable prestar una mayor atención e intensificar el desarrollo de estudios sobre el cultivo de macroalgas marinas de interés comercial en la región de Santa Marta, ya que pueden constituir en un futuro, de ser bien implementados, una fuente de ingreso para comunidades costeras locales y suplir un mercado industrial particular en el país.

Se deberían continuar los ensayos de cultivo de *Hypnea musciformis* considerando otras localizaciones geográficas y otro tipo de cultivos, como los de redes suspendidas o sobre sustratos artificiales, los cuales podrían ser mas exitosos que los ensayos realizados en el presente estudio.

Es importante evaluar a *Hypnea musciformis* detenidamente en su medio natural (poblaciones naturales) por medio de estudios fenológicos de la especie que permitan conocer su dinámica poblacional, épocas reproductivas y mayores picos de biomasa, para establecer las mejores fechas de recolección de material de siembra para los cultivos, de manera sostenible, sin afectar las poblaciones naturales.

Se recomienda realizar mediciones de factores abióticos con mayor frecuencia con el fin de poder establecer en lo posible correlaciones con los resultados obtenidos de los ensayos de cultivo. Para esto se puede hacer uso de instrumentos de medición como HOBOS.

Es de gran importancia considerar dentro de este tipo de estudios parámetros fisicoquímicos como la medición de nutrientes, en especial de nitritos y fosfatos que son determinantes en el crecimiento y desarrollo algal.



Para futuros estudios sobre este tema, se deberían considerar dentro de los objetivos la realización de un análisis costo-beneficio que permita conocer la rentabilidad y posibilidades de aplicar comercialmente el trabajo realizado.



11. BIBLIOGRAFÍA

- ACCORINTI, J. Algas: fuente potencial de nuevos fármacos. Dirección Nacional del Antártico. Instituto Antártico Argentino. Publicación No.18. Buenos Aires, 1987. 136 p.
- ACEVEDO, G. Usos e industrialización de las algas. Trabajo de grado (Licenciado en Ciencias del Mar). Santafé de Bogotá, 1967. 38 p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias del Mar.
- ACLETO, C. Introducción al estudio de las algas. Museo de Historia Natural. Departamento de Botánica. Lima: Universidad Mayor de San Marcos, 1968. 235 p.
- ALMANZA, V.P. y VILLAMIL, L.M. Efectos de la exclusión de herbívoros sobre el alga parda *Padina boergesenii* (Allender y Kraft). Morro Gaira, Caribe colombiano. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Santa Marta, 1998. 77 p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.
- ALVEAL, K. Manejo de algas Marinas. En: ALVEAL, K., FERRARIO, M., OLIVEIRA, E. y SAR, E. Manual de Métodos Ficológicos. Concepción: Universidad de Concepción, 1995. p. 825-863.
- _____. Algas Marinas. Primer Seminario Latinoamericano de Capacitación Pesquera. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), Canadá: Universidad de Concepción. 1990. 153 p.
- ALVEAL, K., ROMO, H., WERLINGER, C. y OLIVEIRA, E.C. Mass cultivation of the agar-producing alga *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta) from spores. In: Aquaculture. Vol.148 (1997); p. 77-83.
- ANDRADE, C.T., AZERO, E.G., LUCIANO, L. and GONCALVES, M.P. Rheological properties of mixtures of *k*-carrageenan from *Hypnea musciformis* and galactomannan from *Cassia javanica*. In: International Journal of Biological Macromolecules. Vol.27 (2000); p. 349-353.
- ANGEL, E. y QUIROS, E.J. Contribución al conocimiento ecológico y sistemático de las algas marinas de Cartagena y sus alrededores. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Cartagena, 1977. 83 p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias del Mar.



- ARECES, A.J. Cultivo comercial de carragenófitas del género *Kappaphycus* Doty. En: ALVEAL, K., FERRARIO, M., OLIVEIRA, E. y SAR, E. Manual de Métodos Ficológicos. Concepción: Universidad de Concepción, 1995. p. 529-550.
- ARENAS, O.L. Efectos de las algas marinas bentónicas en la sobrevivencia de los corales transplantados en las Islas del Rosario, Caribe colombiano. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Santafé de Bogotá, 1999. 94 p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias del Mar.
- BERCHEZ, F.A.S. Perspectives of seaweed cultivation in Brazil. En: III Simposio de Ecosistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira: Estrutura, funcao e manejo. Águas de Lindóia, Sao Paulo: 6-11 Abril 1990. p. 143-149.
- BERCHEZ, F.A.S., PEREIRA, R.T.L. and KAMIYA, N.F. Culture of *Hypnea musciformis* (Rhodophyta, Gigartinales) on artificial substrates attached to linear ropes. In: Hidrobiología. Vol.260/261 (1993); p. 415-420.
- BERCHEZ, F.A.S. and OLIVEIRA, E.C. Maricultural essays with carrageenophyte *Hypnea musciformis* in S. Paulo, Brazil. In: OLIVEIRA-FILHO, E.C. and KAUTSKY, N. Cultivation of seaweed in Latin America. Sao Paulo: Univ. Sao Paulo, 1989. p. 89-94.
- BERCHEZ, F.A.S., PEREIRA, R.T.L. and MARQUES, H.L. A influência da predação na maricultura de *Hypnea musciformis* (Rhodophyta, Gigartinales). En: Ínsula. Vol.19 (1989); p. 71-82.
- BRAVIN, I.C. y YONESHIGUE-VALENTIN, Y. Influência de fatores ambientais sobre o crescimento *in vitro* de *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux (Rhodophyta). En: Revista Brasil. Bot. Vol.25, No.4 (2002); p. 469-474.
- BRAVO, N. Aporte sistemático al estudio de las macroalgas en la bahía de Cartagena (Chlorophyta, Phaeophyta y Rhodophyta). Trabajo de grado (Biólogo Marino). Santafé de Bogotá, 1983. 157 p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias del Mar.
- BULA-MEYER, G. Altas temperaturas estacionales del agua como condición disturbadora de las macroalgas del Parque Nacional Natural Tayrona. En: An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín. Vol.9 (1990); p. 10-20.
- _____. a. Las macroalgas bénticas marinas como recurso potencial económico en Colombia. En: Rev. Acad. Colomb. Cienc. Vol.17, 65 (1989); p. 383-387.



- _____. **b.** Experimental culture in the sea of the red macroalgae *Grateloupia filicina*. In: OLIVEIRA-FILHO, E.C. and KAUTSKY, N. Cultivation of seaweed in Latin America. Sao Paulo: Univ. Sao Paulo, 1989. p. 101-104.
- _____. Un núcleo nuevo de surgencia en el Caribe colombiano detectado en correlación con las macroalgas. En: Bol. Ecotrópica. Vol.12 (1985); p. 3-25.
- BULA-MEYER, G. y DÍAZ-PULIDO, G. Macroalgas del banco de las Animas y nuevos registros para el Caribe colombiano. En: An. Inst. Invest. Mar. Punta Betin. Vol.24 (1995); p. 173-183.
- BUSCHMANN, A.H., CORREA, J.A., WESTERMEIER, R., HERNANDEZ-GONZÁLES, M. and NORAMBUENA, R. Red Algal farming in Chile: a review. In: Aquaculture. Vol.194. (2001); p. 203-220.
- CAMACHO, O.M. El género *Sargassum* C. Agardh 1820 (Phaeophyta - Fucales) del Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Santa Marta. 2003. 101 p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.
- CERVIGON, F., CIPRIANI, R., FISCHER, W., GARIBALDI, L., HENDRICKX, H., LEMUS, A.J., MARQUEZ, R., POUTIERS, J.M., ROBAINA, G. and RODRÍGUEZ, B. Field Guide to the Commercial Marine and Brackish-Water resources of the northern coast of South America. Roma: FAO, 1993. p. 17-22.
- CHACON, I. Las algas marinas, materia prima para crear empresa. En: FORMAR. SENA. Vol.3. (Abril-Mayo, 2005); p. 4-5.
- CHOPIN, T. and WAGEY, B.T. Factorial Study of Phosphorus and Nitrogen Enrichments on Nutrient and Carrageenan Content in *Chondrus crispus* (Rhodophyceae) and on Residual Nutrient Concentration in Seawater. In: Bot. Mar. Vol.42 (1999); p.23-31.
- COLCIENCIAS. Plan Estratégico 1999-2004. Programa Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar. Santafé de Bogotá, 1999. p. 72-75.
- DAWES, C.J. Botanica marina. México, D.F.: Limusa, 1986. 675 p.
- DAWES, C., MOON, R. and LaCLAIRE, J. Photosynthetic responses of the red algae *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux (Gigartinales). In: Bull. Mar. Sci. Vol.26 (1976); p. 467-473.
- DAWSON, E.Y. Marine Botany. USA: Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1966. 358 p.



- DELGADILLO, O., DÍAZ-RUIZ, M. y LARA, O. Experimentos preliminares en Santa Marta para integrar a las macroalgas *Gracilaria* dentro de un policultivo en la Guajira, Caribe colombiano: resumen 083 En: CONGRESO DE FICOLOGÍA DE LATINOAMERICA Y EL CARIBE (7°: 2005: La Habana, Cuba). Resúmenes del VII Congreso de Ficología de Latinoamérica y el Caribe. V Reunión Iberoamericana de Ficología. La Habana: 19-24 Septiembre 2005. p. 56.
- DÍAZ-PULIDO, G. Comunidades macroalgales de los atolones Albuquerque y Courtown (Bolívar), Caribe suroccidental, Colombia, y relación con la estructura arrecifal. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Santa Marta, 1995. 110 p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.
- DÍAZ-PULIDO, G. and DÍAZ- RUIZ, M. Diversity of benthic marine algae of the Colombian Atlantic. In: Biota Colombiana. Vol.4, No.2 (2003); p. 203-246.
- DÍAZ-PULIDO, G. and GARZÓN-FERREIRA, J. Seasonality in Algal Assemblages on Upwelling-influenced Coral Reefs in the Colombian Caribbean. In: Bot. Mar. Vol.45 (2002); p. 284-292.
- DÍAZ-RUIZ, M.C. Ensayos de actividad biológica y ecología química de los extractos orgánicos crudos de algunas macroalgas del Caribe colombiano. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Santa Marta, 2002. 75 p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.
- DURÁN, R., GARRIDO, L., ORTEGA, M.J., RUEDA, A., SALVÁ, J. and ZUBÍA, E. Bioactive natural compounds of algae and invertebrates from the littoral of Cadiz. En: Bol. Inst. Esp. Oceanogr. Vol.15 (1999); p. 357-361.
- EINAV, R., BRECKLE, S. and BEER, S. Ecophysiological adaptation strategies of some intertidal marine macroalgae of the Israeli Mediterranean coast. In: Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol.125 (1995); p. 219-228.
- FACCINI, A.L. and BERCHEZ, F. Management of natural beds and standing stock evaluation of *Hypnea musciformis* (Gigartinales, Rhodophyta) in south-eastern Brazil. In: J. Appli. Phyco. Vol.12 (2000); p. 101-103.
- FRANCO-HERRERA, A. Oceanografía de la ensenada de Gaira – El Rodadero, mas que un centro turístico en el Caribe colombiano –. Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2005. 58 p.



- GANESAN, M.; THIRUPPATHI, S. and JHA, B. Mariculture of *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux in South east coast of India. In: Aquaculture. Vol.256 (2006); p. 201-211.
- GARAY-TINOCO, J., RAMIREZ, G., BETANCOURT, J., MARÍN, B., CADAVID, B., PANIZZO, L., LESMES, L., SÁNCHEZ, J.E., LOZANO, H., FRANCO, A. Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos. Serie Documentos Generales, No.13. Santa Marta: INVEMAR, 2003. 177 p.
- GARZÓN-FERREIRA, J., REYES-NIVIA, M.C. y RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, A. Manual de Métodos del SIMAC (Sistema Nacional de Monitoreo de Arrecifes Coralinos en Colombia). Santa Marta: INVEMAR, 2002. 53 p.
- GAVIRIA, S. Observaciones de los periodos de reproducción y ecología de algunas algas marinas del Caribe colombiano, incluyendo la evaluación bromatológica de seis especies. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Santafé de Bogotá, 1977. 144 p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Ciencias del Mar.
- GLENN, E.P., MOORE, D., FITZSIMMONS, K. and AZEVEDO, C. Spore culture of the red seaweed, *Gracilaria parvispora* (Rodophyta). In: Aquaculture. Vol.142 (1996); p. 59-74.
- GÓMEZ, A. Los recursos marinos renovables del Estado de Nueva Esparta Venezuela. Biología y pesca de las especies comerciales. Tomo I. Invertebrados y algas. Caracas: Fondo Editorial del Estado Nueva Esparta, 1999. 183 p.
- GONZALEZ, A.M. y ROJAS, J. Estructura y composición de la comunidad macroalgal en el sistema arrecifal coralino del archipiélago de San Bernardo, Caribe colombiano. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Santafé de Bogotá, 1995. 68 p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.
- GRAHAM, L.E. and WILCOX, L.W. Algae. USA: Prentice-Hall, 2000. 640 p.
- GRAJALES, A. y POVEDA, L.E. Abundancia, estados reproductivos y algunos parámetros químicos de las macroalgas *Gracilaria mamilaris* y *Solieria filiformis* en Cartagena de Indias, Caribe colombiano. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Cartagena, 1997. 124 p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.



- GREER, C.W., SHOMER, I, GOLDSTEIN, M.E. and YAPHE, W. Analysis of carrageenan from *Hypnea musciformis* by using *k*- and *i*-carrageenases and C-N.M.R. spectroscopy. In: Carbohydrate Research. Vol.129 (1984); p.189-196.
- GUIST, G.G., DAWES, C.J. and CASTLE J.R. Mariculture of the red seaweed, *Hypnea musciformis*. In: Aquaculture. Vol.28 (1982); p.375-384.
- HERNANDEZ-GUERRERO, C., CASAS-VALDEZ, M. y ORTEGA-GARCIA, S. Cosecha comercial del alga *Gelidium robustum* en Baja California Sur, México. En: Revista de Biología Marina y Oceanografía. Vol.34, No.1 (1999); p. 91-97.
- HURTADO, A.Q., AGBAYANI, R.F., SANARES, R. and CASTRO-MALLARE, M.T. The seasonality and economic feasibility of cultivating *Kappaphycus alvarezii* in Panagatan Cays, Caluya, Antique, Philippines. In: Aquaculture. Vol.199 (2001); p. 295-310.
- INVEMAR. Programa Nacional de Investigación en Biodiversidad Marina y Costera (PNIBM). Plan de acción 2001-2010. Santa Marta, 2000. p. 12-13.
- ISRAEL, A. Determinación de la producción primaria en macroalgas marinas. En: ALVEAL, K., FERRARIO, M., OLIVEIRA, E. y SAR, E. Manual de Métodos Ficológicos. Concepción: Universidad de Concepción, 1995. p. 397-416.
- KALADHARAN, P., VIJAYAKUMARAN, K. and CHENNUBHOTLA, V.S.K. Optimization of certain physical parameters for the mariculture *Gracilaria edulis* (Gmelin) Silva in Minicoy lagoon (Laccadive Archipelago). In: Aquaculture. Vol.139 (1996); p. 265-270.
- KEATS, D.W. Life Cycles in Photosynthetic Eukaryotes. Triphasic life cycles in red algae. [en línea, formato HTML]. <<http://hypnea.botany.uwc.ac.za/phylogeny/bioCycles/Default.htm>> [citado en 2 de octubre de 2006].
- LAPOINTE, B.E., WILLIAMS, L.D., GOLDMAN, J.C. and RYTHER, J.H. The mass outdoor culture of macroscopic marine algae. In: Aquaculture. Vol.8 (1976); p. 9-21.
- LEWIN, R.A. Physiology and biochemistry of algae. New York: Academic Press., 1962. 927 p.
- MÁRQUEZ, G. a. Estudios ecológicos en la producción primaria de algas y comunidades bénticas vegetales de la región de Santa Marta, Caribe colombiano. Trabajo de grado (Magíster Scientiae). Santafé de Bogotá, 1982. 78 p. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Facultad de Ciencias.



- _____. **b.** Los sistemas ecológicos marinos del sector adyacente a Santa Marta, Caribe colombiano I: Generalidades. En: Rev. Soc. Col. Ecol. Vol.2 (1982); p. 5-15.
- MARTÍNEZ, A., ARIAS, L., RUEDA, J., DÍAZ-RUÍZ, M. y BULA-MEYER, G. Estudio de la Actividad Antimicrobiana de los Extractos Alcohólicos de Algunas Macroalgas del Caribe Colombiano. En: Vital. Vol.9, No.2 (2002); p. 49-55.
- MEJIA, N. Efecto e incidencia de las interacciones alga-coral en comunidades coralinas de dos bahías de la región de Santa Marta (Caribe colombiano) con distinto grado de influencia antropogénica. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Santafé de Bogotá, 2001. 179 p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.
- MELGAREJO, L., SÁNCHEZ, J., CHAPARRO, A., NEWMARK, F., SANTOS, M., BURBANO, C. y REYES, C. Aproximación al estado actual de la bioprospección en Colombia. Bogotá: Editorial Cargraphics, 2002. 334 p.
- McHUGH, D.J. A guide to the seaweed industry. *FAO Fish. Tech. Pap.* No. 441. Roma: FAO, 2003. 105 p.
- _____. Perspectivas para la producción de algas marinas en los países en desarrollo. *FAO Circular de Pesca.* No.968. Roma: FAO, 2002. 30 p.
- _____. Production and utilization of products from commercial seaweeds. *FAO Fish. Tech. Pap.* No.288. Roma: FAO, 1987. 189 p.
- MUÑOZ, J., PELEGRIN, Y. and ROBLEDO, D. Mariculture of *Kappaphycus alvarezii*, (Rhodophyta, Solieriaceae) color strains in tropical waters of Yucatan, Mexico. In: Aquaculture. Vol.239, No.1-4 (2004); p. 161-177.
- NELSON, S.G., GLENN, E.P., CONN, J., MOORE, D., WALSH, T. and AKUTAGAWA, M. Cultivation of *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in shrimp-farm effluent ditches and floating cages in Hawaii: a two-phase polyculture system. In: Aquaculture. Vol.193 (2001); p. 239-248.
- OLIVEIRA, E.C. y BERCHEZ, F.A.S. Ensayos sobre el cultivo del alga roja *Hypnea musciformis* (Rhodophyta, Gigartinales) en Sao Paulo, Brasil. En: VERRETH, J.A.J., CARILLO, M., ZANUY, S. y HUISMAN, E.A. Proc. Taller Acuicultura en America Latina. Pudoc, Wageningen: Int. Found. Science., 1987. p. 399-409.



- OLIVEIRA, E.C., De PAULA, E.J. and BERCHEZ, F.A.S. Essays on the cultivation of tropical red seaweeds in tanks. In: OLIVEIRA-FILHO, E.C. and KAUTSKY, N. Cultivation of seaweed in Latin America. Sao Paulo: Univ. Sao Paulo, 1989. p. 79-87.
- OLIVEIRA, E.C., PAULA, E.J., PLASTINO, E.M. y PETTI, R. Metodologías para cultivo no axenico de macroalgas marinas in vitro. En: ALVEAL, K., FERRARIO, M., OLIVEIRA, E. y SAR, E. Manual de Métodos Ficológicos. Concepción: Universidad de Concepción, 1995. p. 429-447.
- OSPINA, S.P. Evaluación del efecto de los extractos metanónicos de tres macroalgas marinas en el ciclo celular de la línea HT29. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Santafé de Bogotá, 2003. 63 p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.
- PANIZZO, L. Evaluación del contenido de nitrógeno y de aminoácidos totales en algunas especies de algas marinas pertenecientes a la región del Magdalena, Colombia. Artículo Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. 1983. p. 31-36.
- PICKERING, T.D., GORDON, M.E. and TONG, L.J. A preliminary trial of a spray culture technique for growing the agarophyte *Gracilaria chilensis* (Gracilariales; Rhodophyta). In: Aquaculture. Vol.130 (1995); p. 43-49.
- PORTO, S. Empresa AGARGEL. Generalidades de la carragenina [en línea, formato HTML]. <<http://www.agargel.com.br/carragenina.html>> [citado en 7 de julio de 2006].
- PUJOS, M., PAGLIARDINI, J., STEER, R., VERNETTE, G. y WEBER, O. Influencia de la contracorriente norte colombiana para la circulación de las aguas en la plataforma continental: su acción sobre la dispersión de los efluentes en surgencia del río Magdalena. En: Bol. Cient. CIOH. No.6 (1986); p. 3-15.
- QIAN, P., WU, C.Y., WU, M. and XIE, Y.K. Integrated cultivation of the red alga *Kappaphycus alvarezii* and the pearl oyster *Pinctada martensi*. In: Aquaculture. Vol.147 (1996); p. 21-35.
- REIS, R.P., RAMOS, M.C., YONESHINGUE-VALENTIN, Y. y BELLUCO, F. Efeito de factores bióticos no crescimento de *Hypnea musciformis* (Rhodophyta - Gigartinales). En: Acta bot. bras. Vol.17, No.2 (2003); p. 279-286.

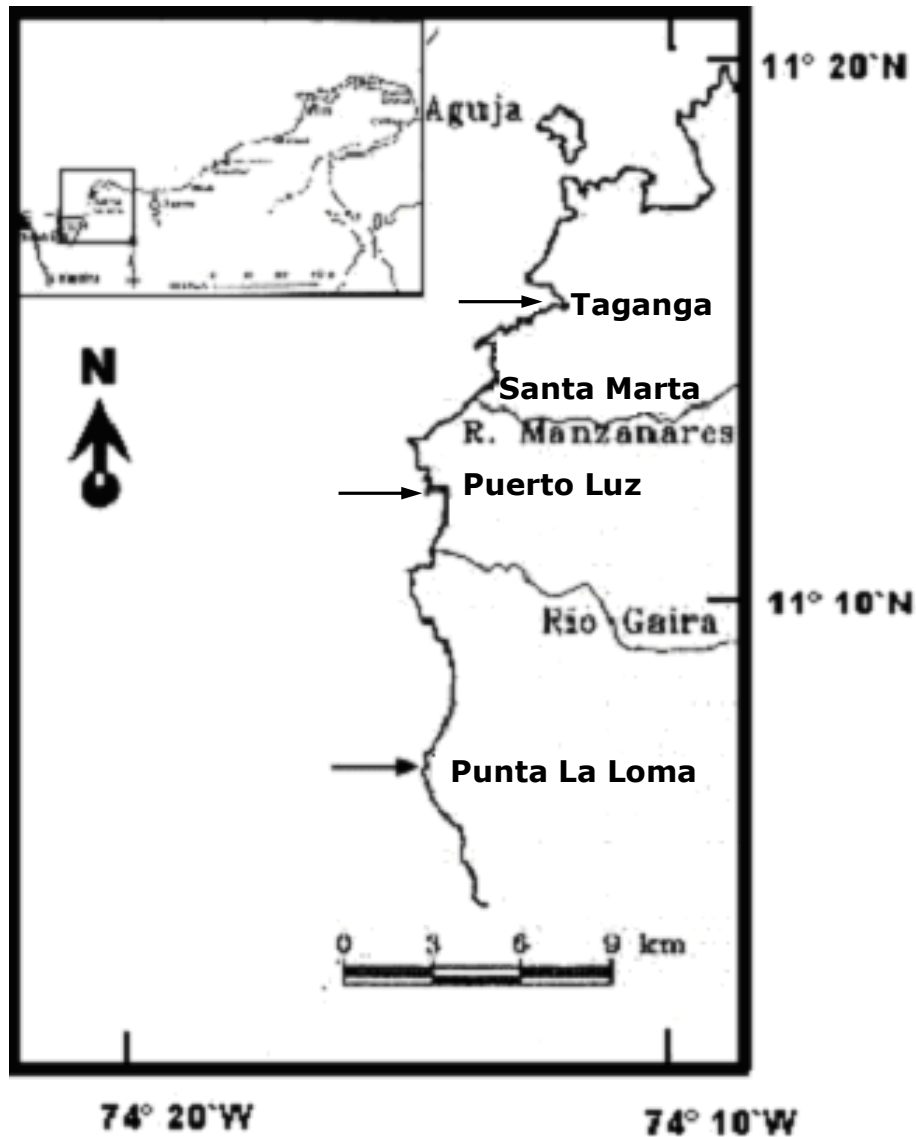


- REIS, R.P. and YONESHIGUE-VALENTIN, Y. Phenology of *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux (Rhodophyta, Gigartinales) in Three Populations from Rio de Janeiro State, Brazil. In: Bot. Mar. Vol.43 (2000); p. 299-304.
- RINCON, A.C. Las algas coralinaceas (Coallinales-Rhodophyta) del Parque Nacional Natural, Corales el Rosario, Costa Caribe de Colombia. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Cartagena, 1988. 205 p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.
- RINCONES, R.E. Experimental cultivation of an agarophyte alga: *Gracilaria cornea*. In: OLIVEIRA-FILHO, E.C. and KAUTSKY, N. Cultivation of seaweed in Latin America. Sao Paulo: Univ. Sao Paulo, 1989. p. 65-67.
- RINCONES, R.E. y GALLO, E.M. Proyecto Jimoula. El cultivo de algas marinas como alternativa de desarrollo sustentable para las comunidades costeras de la Guajira, Colombia. Resumen Ejecutivo. Biotecnología & Acuicultura, BIOTACOL Ltda. Guajira, 2004.10p.
- ROZO, G. Extracción de carragenina a partir de *Hypnea musciformis*. Tesis de maestría (Maestría en ciencias). Santafé de Bogotá, 2006. sin p. Universidad Javeriana. Facultad de ciencias.
- SAMONTE, G., HURTADO-PONCE, A. and CATURAO, R. Economic analysis of bottom line and raft monoline culture of *Kappaphycus alvarezii* var. *tambalang* in Western Visayas, Philippines. In: Aquaculture. Vol.110 (1993); p. 1-11.
- SANTELICES, B. Problema y oportunidades para el cultivo de macroalgas en América Latina y el Caribe: conferencia 5. En: CONGRESO DE FICOLOGÍA DE LATINOAMERICA Y EL CARIBE (7°: 2005: La Habana, Cuba). Resúmenes del VII Congreso de Ficología de Latinoamérica y el Caribe. V Reunión Iberoamericana de Ficología. La Habana: 19-24 Septiembre 2005. p. 11.
- SANTELICES, B. and DOTY, M.S. A review of *Gracilaria* farming. In: Aquaculture. Vol.78 (1989); p. 95-133.
- SCHENKMAN, R.P.F. *Hypnea musciformis* (Rhodophyta): Ecological influence on growth. In: J. Phycol. Vol.25 (1989); p. 192-196.
- SILAKANGAMA. Informe interno proyecto "Variabilidad del asentamiento postlarval e implementación de refugios artificiales para el manejo de langosta espinosa *Panulirus Aarhus* en la región de Santa Marta". Santa Marta, 2005.



- SMITH, J. and CONKLIN, E. Invasive Macroalgae on Hawaii's Reefs. Impacts, Interactions, Mechanisms & Management [en línea, formato PDF]. <<http://www.botany.hawaii.edu/Invasive/default.htm>> [citado en 6 de febrero de 2006].
- SMITH, A.H. Seaweed resources of the Caribbean. In: Critchley, A.T. and Ohno, M. Seaweed resources of the world. Yokosuka: International Cooperation Agency, 1998. p. 324-330.
- SZE, P. A biology of the algae. Third edition. USA: McGraw-Hill, 1998. 251 p.
- TAIT, R.V. Elementos de Ecología Marina. Curso preparatorio. Segunda edición. Zaragoza: Acribia, S.A., 1987. 446p.
- TAYLOR, W.M. Marine Algae of the Eastern Tropical and Subtropical coasts of the Americas. University of Michigan studies. Scientific series. Vol. XXI. Michigan: The University of Michigan Press, Ann Arbor, 1960. 870p.
- VERGARA, J.M. Efectos del coral de fuego *Millepora* spp. (Milleporina; Hidrozoa) y las grietas de las rocas sobre la distribución de especies en un tapete de algas en el Morro Gaira, Caribe colombiano. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Santa Marta, 1997. 68p. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina.
- WALLNER, M., LOBO, S., BOCCANERA, N. and MENDES DA SILVA, E. Biomass, carrageenan yield and reproductive state of *Hypnea musciformis* (Rhodophyta: Gigartinales) under natural and experimental cultivated condition In: Aquaculture and Fisheries Management. Vol.23. (1992); p. 443-451.
- WYNNE, M.J. A checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical western Atlantic: second revision. Berlin: J. Cramer, 2005. 152p.
- YOKOYA, N.S., KAKITA, H., OBIKA, H. and KITAMURA, T. Effects of environmental factors and plant growth regulators on growth of the red alga *Gracilaria vermiculophylla* from Shikoku Island, Japan. In: Hydrobiologia. Vol. 398/399 (1999); p. 339-347.
- ZAR, J.H. Biostatistical analysis. 4th Edition. New York: Prentice-Hall, Inc. 1999. 931 p.
- ZEMKE-WHITE, W.L. and OHNO, M. World seaweed utilization: and end-of-century summary. In: J. Appli. Phyco. Vol.11 (1999); p. 369-376.

ANEXO 1. Ampliación del mapa correspondiente al área de estudio.
Modificado de Bula-Meyer y Díaz-Pulido (1995).



En este mapa se especifican las zonas donde se realizaron los ensayos de cultivo (Puerto Luz y Taganga) y donde se recolectó el material a sembrar (Punta La Loma).

ANEXO 2. Procedimientos para la extracción de Carragenina.

Extracción de la Carragenina:

La obtención de la carragenina se basa en un complejo proceso que se realiza a partir de varias metodologías viables dentro de las cuales se encuentra la obtención del ficocoloide a partir de Agua Alcalina o un segundo método a partir de una solución de Bicarbonato de Sodio.

Un producto similar a la carragenina que posee todas sus propiedades y que es posible usar en todas las formulaciones donde la carragenina es usada, se puede obtener cocinando el alga en una solución de Hidróxido de Potasio. Este producto es llamado carragenina semiterminada.

Antes de la extracción del ficocoloide, el alga es pulverizada, blanqueada y secada. Para la carragenina semiterminada no es necesario pulverizar el alga, pero el blanqueamiento si es necesario.

Pulverización del alga: este proceso se puede realizar haciendo uso de un pulverizador caliente y tamizando en un recipiente a través de un tamiz de una malla fina (Tipo 40). Manualmente también se puede moler el alga haciendo uso de un mortero.

Blanqueamiento: El polvo del alga o los fragmentos del talo, se blanquean haciendo un tratamiento primero con 5 volúmenes de acetona agitando. Se filtra el polvo para eliminar la mayor cantidad de color. El residuo se trata calentándolo en alcohol al 80% por unos minutos y luego en alcohol puro. Por ultimo se realiza un tratamiento a temperatura ambiente con Dietil-eter. El polvo del alga se recupera filtrando y luego se seca en el horno a 60 °C.

CONTINUACIÓN ANEXO 2.

I. Extracción con Agua Alcalina:

1. Disuelva 5 gm. de polvo seco del alga en 100 ml. de agua destilada alcalina (pH 8) con 1N NaOH por 15 minutos. Use un Erlenmeyer de 500 ml.
2. Cubra el Erlenmeyer con papel aluminio, haga un pequeño hueco en el papel y lleve al autoclave por 1 hora y media.
3. Filtre la solución viscosa mientras esta caliente en un nuevo recipiente (Beaker de 500 ml).
4. Enfríe el extracto a temperatura ambiente.
5. Observe si el extracto gelifica inmediatamente en frío.
6. Si el extracto no gelifica en frío, pero permanece altamente viscoso, la carragenina puede ser precipitada añadiendo 2,5 veces el volumen de isopropanol.
7. Remueva la carragenina por filtración y seque en un horno a 60° C por una noche.
8. Si se forma un gel, lleve a un congelador. Al día siguiente el gel congelado puede ser descongelado y luego secado.
9. Pese la carragenina seca obtenida y calcule el rendimiento de carragenina del peso seco del alga utilizado.
10. Conserve el producto para futuras pruebas.

CONTINUACIÓN ANEXO 2.

II. Extracción con Bicarbonato de Sodio:

1. En un Erlenmeyer de 500 ml, disuelva 5 gm. de polvo seco del alga en 100 ml. de solución de Bicarbonato de Sodio 0,5M (1:20 peso/volumen).
2. Lleve el recipiente al autoclave por 1 hora y media.
- 3 al 10. Repetir el proceso descrito en I.