

CULTIVO EXPERIMENTAL EN EL MAR DEL ALGA ROJA *HYPNEA MUSCIFORMIS* EN EL AREA DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO

Olga Camacho^{1,2} y *Julián Montaña-Fernández*¹

1 *Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Programa de Biología Marina. Carrera 2 No. 11-68, El Rodadero, Santa Marta, Colombia. olgacamacho76@yahoo.com (OCH); montijcmf@gmail.com (JMF)*

2 *Universidad de Louisiana at Lafayette, Departamento de Biología, LA 70504-2451, Estados Unidos. omc1833@louisiana.edu*

RESUMEN

Con el fin de proporcionar información sobre cultivos macroalgales en Colombia, se realizaron ensayos de cultivo en medio natural del alga roja *Hypnea musciformis*. El estudio se desarrolló entre febrero-junio de 2006 en la zona costera de Santa Marta, Caribe colombiano. Los ensayos se hicieron utilizando bolsas de polipropileno suspendidas en una línea superficial en el mar, considerando: lugar (Taganga y Puerto Luz), época climática (seca mayor y lluviosa menor) y tiempo de cosecha (semanal y quincenal). Se obtuvo en promedio total una tasa de crecimiento diaria (TCD) de 2.66 %. No se encontraron diferencias significativas entre los ensayos desarrollados; sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron en Taganga en los ensayos semanales durante la época seca. Se obtuvo un rendimiento de carragenina de 44-48 % a partir del material cultivado. Aunque estos resultados sugieren que *H. musciformis* puede ser un recurso natural viable para su cultivo en la región de Santa Marta, esta especie produjo baja biomasa con el método de cultivo desarrollado. Es necesario continuar con más investigaciones para argumentar la viabilidad de desarrollar cultivos de *H. musciformis* a una escala comercial en la región, teniendo en cuenta otros lugares, ensayos anuales y cultivos a partir de esporas.

PALABRAS CLAVES: Cultivo, *Hypnea musciformis*, Crecimiento, Carragenina, Colombia.

ABSTRACT

Culture assays in natural environment of the red alga *Hypnea musciformis* in Santa Marta, Colombian Caribbean. In order to provide information about seaweed culture in Colombia, culture essays of the red seaweed *Hypnea musciformis* were implemented in the natural habitat of the species. The study was carried out between February and June 2006 in the coastal area of Santa Marta, Colombian Caribbean. Culture essays were developed using polypropylene hanging bags suspended on a line at sea surface, taking into consideration: site (Taganga and Puerto Luz), season (long dry and short rainy transition) and culture time (seven and fifteen days). The total mean daily growth rate (DGR) was 2.66 %. No significant differences were found between essays; however, the best results were obtained in Taganga during the dry season from seven-day yields. A carrageenan content of 44-48 % dry weight was obtained from the cultures. Although these results suggest that *H. musciformis* can be a viable natural

resource for cultivation in the Santa Marta area, this species produced low biomass with the culture method used. More investigations are necessary to assess the feasibility of commercial scale culturing of *H. musciformis* in the region, taking into account other sites, annual essays and spore cultures.

INTRODUCCIÓN

Las macroalgas son un importante recurso renovable en zonas costeras alrededor del mundo, pero dado su gran potencial económico y disponibilidad en el medio se ha incrementado su cosecha y comercialización en los últimos años generando una sobreexplotación de las praderas naturales (Lapointe *et al.*, 1976; Alveal, 1995; Sahoo y Yarish, 2005). Existen también algas potencialmente explotables pero con baja biomasa natural, como ocurre en las aguas tropicales del Caribe. Por estas razones, recientemente han aumentado las investigaciones centradas al fortalecimiento de técnicas de cultivo y al conocimiento del ciclo de vida de algunas algas con miras a incrementar la materia prima y así suplir la alta demanda del mercado mundial actual, constituyendo al mismo tiempo una producción sostenible para comunidades costeras (Areces, 1995; McHugh, 2002, 2003).

Dentro de las algas rojas del orden Gigartinales, *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux tiene gran importancia comercial al ser fuente de materia prima para la producción de carragenina, coloide hidrofílico apetecido en el mercado nacional e internacional (Cervigón *et al.*, 1993), el cual es utilizado como espesante, gelificante, agente de suspensión y estabilizante (Abbott y Cheney, 1982). En la actualidad, la mayor parte de las algas carragenófitas, principalmente *Kappaphycus* y *Euचेuma*, son cultivadas en Filipinas, Indonesia, Tanzania, Brasil, Venezuela y Panamá; sin embargo, sigue existiendo una pequeña demanda de poblaciones naturales de *Chondrus crispus*, *Gigartina* spp. y *H. musciformis* en otros países (Saito y Oliveira, 1990; Graham y Wilcox, 2000; McHugh, 2003).

Aunque el Caribe colombiano presenta una gran diversidad de algas bentónicas (Díaz-Pulido y Díaz-Ruiz, 2003), éstas no forman grandes praderas naturales, siendo una limitante para actividades comerciales y por lo tanto es necesario el desarrollo de cultivos marinos (Bula-Meyer, 1988, 1989a). A pesar de esto, en el país no existen experiencias de cultivo que lleven a un conocimiento amplio sobre el tema, a excepción de algunos ensayos como los desarrollados por CORPOGUAJIRA e INVEMAR con varias algas rojas en la bahía de Portete (Delgadillo-Garzón y Newmark-Umbreit, 2008) y con *Gracilaria* sp. en Santa Marta (Delgadillo *et al.*, 2005), el proyecto no continuado de Rincones y Gallo (2004) con los géneros *Kappaphycus* y *Euचेuma* en el Cabo de la Vela y el estudio realizado por Bula-Meyer (1989b) con la carragenófito *Grateloupia filicina* en Santa Marta.

Actualmente, la mayor producción de carragenina a nivel mundial se obtiene partir de especies de *Kappaphycus* y *Euclima*, razón por la cual han sido introducidas en los últimos años a diferentes partes del mundo con fines de cultivo, incluso en aguas del Caribe como Venezuela (Rincones y Rubio, 1999), Cuba (Areces y Céspedes, 1992) y Panamá (Baptista, 2009). En Colombia, *E. isiforme* y *K. alvarezii* fueron registradas por Rincones y Gallo (2004) creciendo de forma natural en el departamento de La Guajira. Sin embargo, no existe hasta el momento un registro taxonómico que haga alusión a estos hallazgos en aguas colombianas. Estas especies, nativas del Indopacífico, han sido tema de gran controversia y amenaza en los lugares de introducción dado su carácter invasor en Hawaii (Smith *et al.*, 2002), India (Chandrasekaran *et al.*, 2008) y Venezuela (Barrios, 2005).

De tener viabilidad comercial, los cultivos macroalgales proporcionarían otra fuente de trabajo e ingresos a las comunidades costeras en el Caribe colombiano, siendo una alternativa ante la disminución de otros recursos pesqueros. Por esta razón, se realizaron ensayos experimentales de cultivo en el mar del alga nativa *Hypnea musciformis*, en febrero-junio del año 2006, con el fin de comenzar con investigaciones que permitan conocer la viabilidad de su cultivo en términos de crecimiento y contenido de carragenina, con relación a diferentes tiempos de cosecha y localidades durante la época seca mayor y húmeda menor en el departamento del Magdalena.

ÁREA DE ESTUDIO

Los experimentos de cultivo se desarrollaron en la zona costera de Santa Marta (departamento del Magdalena), en las áreas de Puerto Luz (ensenada de Gaira) y bahía de Taganga ubicadas entre 74°10' y 74°20' W y 11°10' y 11°20' N (Figura 1). Su litoral es principalmente rocoso hasta 2-8 m de profundidad en pendiente media, seguida por planicies de arena. Ambas zonas presentan, en mayor o menor grado, impacto antropogénico de poblaciones aledañas y aporte fluvial de las cuencas del río Magdalena y el estuario de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Igualmente, ambas zonas pueden verse influenciadas por descargas de ríos locales como Gaira y Manzanares (Franco-Herrera, 2005). Las algas para la siembra se recolectaron en la zona costera del aeropuerto Simón Bolívar de Santa Marta (74°14'01'' W y 11°06'59'' N) donde se encuentra una plataforma rocosa fósil que favorece el establecimiento de una diversa comunidad algal (García y Díaz-Pulido, 2006) y se encuentran talos de *H. musciformis* durante todo el año (Camacho-Hadad y Sánchez, 2008).

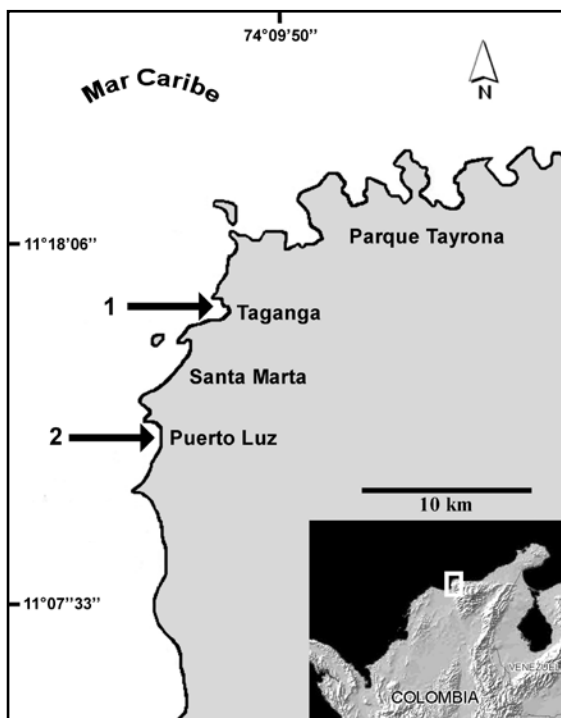


Figura 1. Área de estudio en el Caribe colombiano donde se ubicaron los ensayos de cultivo (1: Taganga; 2: Puerto Luz).

Las características oceanográficas y climáticas de la región de Santa Marta están determinadas por el relieve costero y la incidencia de los vientos alisios del NE (Garzón-Ferreira, 1998). Durante las épocas secas mayor (diciembre-abril) y menor (julio-agosto), al establecerse los vientos, se produce una surgencia de aguas frías, saladas y ricas en nutrientes desde zonas profundas. En las épocas lluviosas menor (mayo-junio) y mayor (septiembre-noviembre) cesan los alisios y la costa se ve afectada por pulsos de aguas continentales, causando un aumento en la temperatura, disminución en la salinidad, alta turbidez y aumento en la oferta de nutrientes y materia orgánica en suspensión (Ramírez, 1990; Garzón-Ferreira y Cano, 1991).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sistema de cultivo

La instalación del sistema de cultivo (Figura 2) en cada área de estudio se realizó a 20-30 m de la costa. Se escogieron lugares con buen intercambio de agua, constituidos principalmente por fondos arenosos evitando la alta herbivoría. Se trabajó

el método de cultivo de bolsas pequeñas unidas a una línea suspendida en el mar a una profundidad de 0.5 m (Guist *et al.*, 1982; Oliveira y Berchez, 1987). Se utilizó una cuerda de polipropileno (5 mm de diámetro) de 20 m de longitud (Areces, 1995; Glenn *et al.*, 1996), la cual se mantuvo horizontalmente por medio de líneas verticales perpendiculares. Estas líneas verticales se unieron a pesos muertos en el fondo y a boyas superficiales para mantener su posición (Figura 2). Las algas se colocaron en bolsas de 9 cm de diámetro construidas con red de polipropileno (Figura 3a) de un poro de malla de 8 mm de diámetro, ubicadas cada 30 cm (n= 60) a lo largo de la línea horizontal de 20 m (Figura 2 y 3a). Dentro de cada bolsa de polipropileno se introdujo entre 1.5 y 2 g de alga. Las bolsas se colocaron en la línea horizontal respectiva en una densidad total de aproximadamente 120 g en cada área o módulo de cultivo.

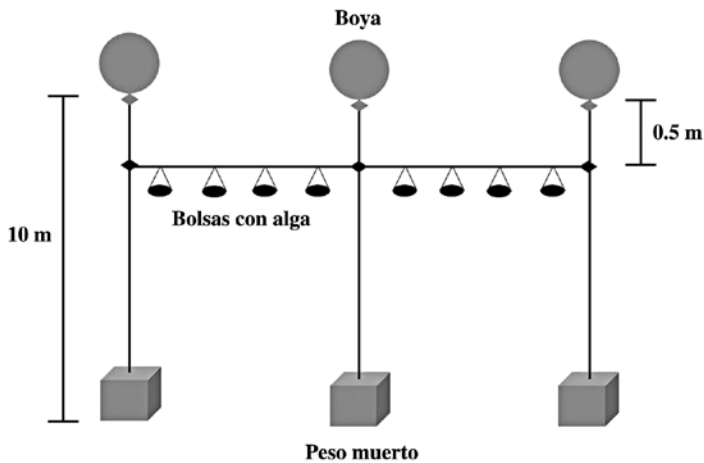


Figura 2. Esquema del sistema de cultivo sobre líneas flotantes desarrollado en las dos áreas de estudio.

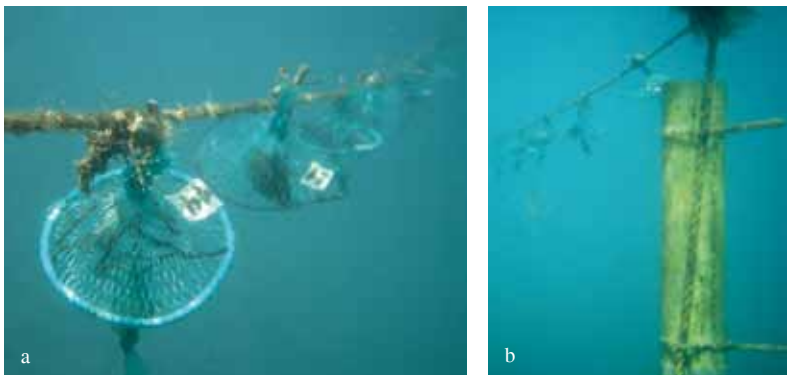


Figura 3. a) Bolsas con las algas a lo largo de la línea horizontal. b) Trampa de sedimentación.

Siembra y cosecha de las algas

Los ensayos comenzaron con las primeras siembras (quincenales) el 18 de febrero y terminaron con las últimas cosechas (semanales y quincenales) el 13 de junio de 2006, abarcando la época seca mayor (febrero y abril) y la época lluviosa menor (mayo y junio). La semana uno del estudio (3 de marzo) corresponde a las primeras cosechas del material en los cultivos tanto semanal como quincenal. Las siembras se hicieron a partir de material algal fresco (ramas) de *H. musciformis*, recolectado en horas de la mañana (7-9 a.m.). Para transportar las algas al laboratorio, éstas se protegieron de temperaturas e intensidades luminosas elevadas haciendo uso de una nevera con hielo (el cual no tenía contacto directo con las muestras). Las algas usadas para la siembra presentaron buen aspecto, textura y coloración, y fueron siempre limpiadas con cuidado para la remoción de sedimentos, epífitos o animales asociados (Oliveira *et al.*, 1995). El material seleccionado para cada bolsa se pesó haciendo uso de una balanza analítica (0.01 g de precisión). Adicionalmente, para conocer, de manera general, el estado reproductivo de la población en el litoral del aeropuerto en cada fecha de siembra, se colectaron al azar y preservaron en formalina al 4 % algunos talos de *H. musciformis*. La respuesta de las macroalgas en el cultivo se midió mediante monitoreo de biomasa y crecimiento semanales y quincenales (Oliveira *et al.*, 1995; Qian *et al.*, 1996), colectando el material algal producido en el módulo, la mitad, realizada al azar, a los siete días (n= 30) y la otra mitad a las dos semanas (n= 30).

Crecimiento algal

Luego del tiempo estipulado en el cultivo, se determinó la biomasa húmeda (g) presente en cada una de las bolsas y luego de su completo secado a la intemperie se determinó la biomasa seca (g). Se calculó la tasa de crecimiento diario (TCD) de acuerdo con la ecuación planteada por Bird *et al.* (1979):

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

Donde: *W_o* corresponde al peso húmedo inicial sembrado en el cultivo, *W_f* peso húmedo final cosechado y *D* duración del cultivo en días.

Factores ambientales

Se realizaron mediciones semanales de temperatura, salinidad y tasa de sedimentación en los módulos de cultivo. La temperatura se midió con un termómetro de mercurio a una profundidad de 0.5 m. A partir de una muestra de agua tomada en campo (10 mL), se determinó la salinidad mediante el uso de un refractómetro manual (Marca ATAGO-8904, de precisión ± 0.2 %). Para cuantificar la tasa de sedimentación se utilizó un tubo fijo de PVC de 30 cm de altura y 6 cm de diámetro, tapado en su parte inferior y ubicado mediante abrazaderas a uno de

los cabos verticales de los módulos, a la misma altura a la que se ubicaron las algas (Figura 3b). Este tubo se recogió cada semana e inmediatamente se reemplazó con otro igual para la siguiente medición de este parámetro. La tasa de sedimentación se calculó a partir de la fórmula planteada por Garay-Tinoco *et al.* (2003).

Producción de carragenina

Para el análisis del contenido de carragenina de las algas cultivadas, se envió el material seco cosechado a la planta de procesamiento de algas marinas Ficoloides de Colombia E.U., ubicada en Sogamoso (Colombia). Antes de realizar la extracción de la carragenina, las muestras del alga seca fueron pulverizadas, blanqueadas y secadas nuevamente. Se llevó a cabo el proceso de extracción a partir de agua alcalina y mediciones de viscosidad 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). 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 y W_s corresponde al peso algal seco.

Análisis estadístico

A partir de las pruebas de normalidad (Prueba de Shapiro-Wilks) se estableció la necesidad de trabajar con estadística no paramétrica al no poder normalizar los datos con ninguna transformación. Con el fin de observar las diferencias entre las dos áreas de estudio, épocas climáticas y tiempos de cosecha en los cultivos, se sometieron los datos al test de Kruskal-Wallis considerando cada factor por aparte. Para comparaciones entre dos muestras se utilizó el test de Mann-Whitney y para correlacionar los factores ambientales con el crecimiento se utilizó la prueba a partir de rangos de Spearman (Zar, 1999).

RESULTADOS

Sistema de cultivo

El montaje realizado para los ensayos de cultivo se mantuvo estructuralmente en buen estado en ambos lugares durante el tiempo de estudio; sin embargo, fue necesario limpiar frecuentemente las estructuras debido a organismos que se adherían continuamente en diferentes partes de los módulos, como cirripedios, hidroides y algas filamentosas. Se obtuvo muy poca pérdida de bolsos sembrados, lo cual indica un buen montaje y mantenimiento de los sistemas. Se observaron peces juveniles (de las familias Carangidae, Syngnathidae, Aulostomidae, Monacanthidae y Ostraciidae)

nadando cerca de las módulos de cultivo, pero no se observaron consumiendo las algas sembradas. En algunos casos, las algas presentaron cambios externos en la coloración, mostrando una despigmentación mayor al permanecer durante más tiempo en el cultivo. Durante todo el estudio, en la zona de adquisición de algas para la siembra, se observaron talos en diferentes estados reproductivos: tetrasporofíticos, cistocárpicos, espermatangiales y vegetativos, siendo más frecuentes los dos primeros.

Crecimiento algal

La tasa de crecimiento diario (TCD) fue en promedio $2.66 (\pm 5.74) \%$ presentando los mayores valores durante la época seca mayor, en ambas localidades, durante los ensayos de cosecha semanal. Los valores más bajos se presentaron durante la época lluviosa menor, especialmente en Puerto Luz (Tabla 1; Figura 4). En Taganga se obtuvo una TCD promedio de $3.75 (\pm 4.66) \%$ con valores máximos individuales (considerando cada una de las bolsas o ensayos realizados) hasta 17.40% . En la zona de Puerto Luz se registró una TCD menor que en Taganga, con un promedio de $1.57 (\pm 6.48) \%$ y con valores máximos individuales hasta 22.17% . No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los ensayos desarrollados en el estudio (lugar, época, tiempo de cosecha) para la TCD.

Tabla 1. Valores promedio (desviación estándar) de las tasas de crecimiento diario (TCD) para los diferentes ensayos de cultivo realizados. Períodos de cosecha: semanal y quincenal.

	Época seca mayor		Época lluviosa menor	
	Semanal	Quincenal	Semanal	Quincenal
Taganga	6.16 (± 4.09)	3.88 (± 4.07)	5.40 (± 2.57)	0.18 (± 4.51)
Puerto Luz	6.56 (± 6.54)	3.23 (± 0.92)	-0.54 (± 6.65)	-2.44 (± 4.66)

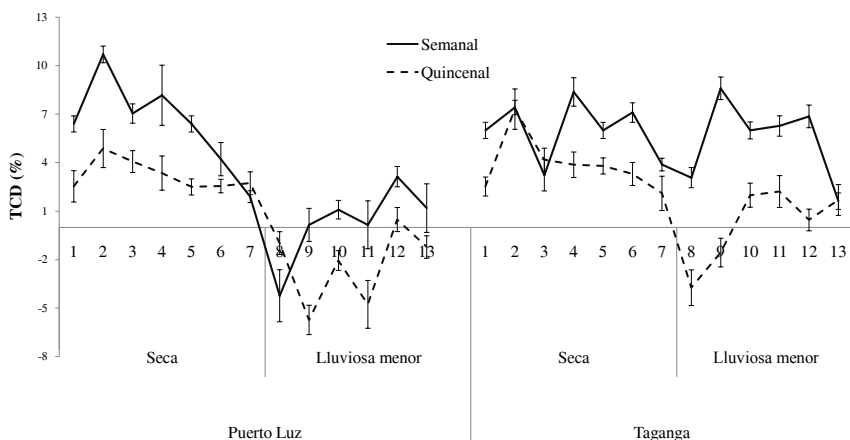


Figura 4. Tasa de crecimiento diario (TCD) a lo largo del estudio en las dos áreas (Puerto Luz y Taganga) en los ensayos semanales y quincenales. Los números hacen referencia a las semanas respectivas del estudio en cada época climática. Época seca mayor (marzo y abril) y la época lluviosa menor (mayo y junio).

Factores ambientales

Los resultados revelaron que no existe una correlación estadísticamente significativa ($p > 0.05$) entre los diferentes factores ambientales medidos con el crecimiento del alga en los cultivos. La tasa de sedimentación presentó diferencias significativas ($p < 0.05$; $W = 189$) entre las dos zonas. Se obtuvieron mayores valores de este parámetro en Puerto Luz con un valor promedio de $0.88 \text{ g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ (± 0.47) en comparación con Taganga, donde la tasa de sedimentación fue en promedio $0.56 \text{ g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ (± 0.24) (Figura 5a). Considerando las épocas climáticas abarcadas en este estudio, no se encontraron diferencias estadísticas de este parámetro en ninguna de las localidades de estudio. Igualmente, no se encontraron diferencias significativas de la temperatura y salinidad entre lugares y épocas climáticas, sin embargo, fue posible observar variaciones notorias de estos parámetros a lo largo del estudio. La temperatura varió entre 23 y 29 °C, obteniéndose los valores más altos en la época lluviosa menor (Figura 5b). La salinidad presentó valores entre 30 y 37 , obteniendo los mayores valores en la época seca mayor (Figura 5c). En las dos localidades el comportamiento de estos dos parámetros fue similar, observándose una tendencia en el tiempo al aumento de la temperatura y disminución de la salinidad, aunque en este último parámetro no fue tan notoria ya que la mayoría de los valores se encontraban en 35 , decreciendo al final del estudio (Figura 5c).

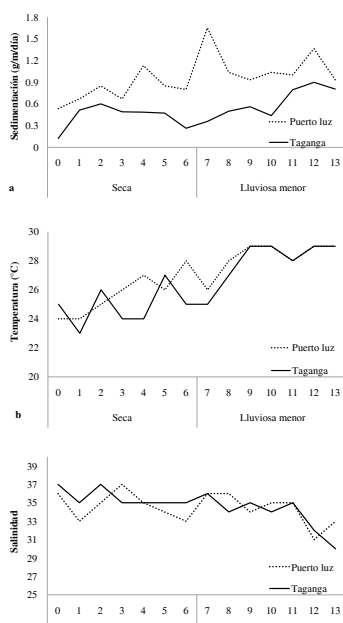


Figura 5. Comportamiento de la sedimentación (a), temperatura (b) y salinidad (c) y a lo largo de las semanas del estudio en las dos áreas de cultivo.

Carragenina

Se obtuvo buen porcentaje de rendimiento de carragenina (entre 44 y 48 %). La fuerza gel de este ficocoloide estuvo entre 135 y 175 gr/cm² y la viscosidad entre 65 y 75 cps (Tabla 2). Se obtuvo en promedio una tasa de conversión entre el peso seco y peso húmedo de 0.11 (± 0.02) para *H. musciformis*, indicando que el peso seco producido en los diferentes ensayos fue aproximadamente el 11 % del material húmedo cosechado.

Tabla 2. Análisis de producción (% rendimiento), fuerza gel y viscosidad de la carragenina extraída de los cultivos de *Hypnea musciformis*.

	Semanal		Quincenal	
	Puerto Luz	Taganga	Puerto Luz	Taganga
Materia seca lavada (g)	18.21	26.32	12.35	20.15
Rendimiento (%)	48.09	45.76	47.47	44.42
Fuerza gel (g/cm ²)	135	175	150	135
Viscosidad (cps)	65	70	65	75

DISCUSIÓN

Algunos cambios morfológicos en *Hypnea musciformis*, como su pigmentación, es común observarlos en sistemas de cultivo (Lapointe *et al.*, 1976). Esto puede ser debido a altas intensidades lumínicas, a limitación de nitrógeno que reduce la habilidad de captar luz (Bravin y Yoneshigue-Valentin, 2002) o a la gran acumulación de sedimento sobre las algas, como se observó en este estudio, lo cual puede igualmente reducir la luz disponible para su desarrollo. De acuerdo con Berchez y Oliveira (1989), se evidencia un mayor blanqueamiento en esta alga al permanecer durante más tiempo en condiciones de cultivo. Este cambio, considerado un estado fisiológico deficiente en algas cultivadas (Arecas, 1995), en nuestro caso no afectó el rendimiento de carragenina pero pudo influir en el bajo crecimiento obtenido. El epifitismo ha sido uno de los mayores problemas en sistemas productivos con esta especie (Oliveira y Berchez, 1987) y otras macroalgas (Bula-Meyer, 1989b; Rincones, 1989; Santelices, 2005; Delgadillo-Garzón y Newmark-Umbreit, 2008); sin embargo, en este estudio no se evidenció un gran impacto de este factor biótico sobre las algas sembradas, posiblemente por la limpieza semanal que se realizó a los sistemas de cultivo y al corto tiempo de los ensayos (una o dos semanas).

Los valores obtenidos de TCD revelan mejores resultados en los ensayos de cultivo desarrollados en Taganga (Figura 4), lo cual puede estar relacionado con la menor tasa de sedimentación encontrada en esta zona que en Puerto Luz

(Figura 5a). La cercanía de aguas continentales provenientes del río Gaira y la pluma del río Magdalena, que se caracterizan por el aporte de sedimentos y material en suspensión (Franco-Herrera, 2005), afectan más, por ubicación geográfica, a Puerto Luz. Es importante mencionar que en esa localidad el movimiento del agua es menor que en el área del aeropuerto (zona de consecución de la semilla) y en el área de cultivo en Taganga, siendo un factor determinante en la baja producción de biomasa en el medio natural (Reis y Yoneshigue-Valentin, 2000) y en ensayos de cultivo en mar (Oliveira y Berchez, 1987; Berchez *et al.*, 1993), al no permitir remover las partículas sedimentadas sobre el alga y no tener un buen intercambio de nutrientes. Sin embargo, se debe tener precaución ya que un gran oleaje o movimiento de agua excesivo pueden ejercer un efecto negativo en los cultivos afectando la permanencia y crecimiento de las algas (Berchez *et al.*, 1993; Santelices, 1999; Delgadillo-Garzón y Newmark-Umbreit, 2008).

A pesar de no encontrar diferencias estadísticas de los parámetros abióticos medidos entre las épocas climáticas evaluadas, posiblemente por el poco número de datos tomados o por su comportamiento mismo (Lapointe *et al.*, 1976), éstos mostraron diferencias notorias a lo largo de los meses del estudio (Figura 5). Estas variaciones se encuentran dentro de los ámbitos registrados anteriormente para las diferentes épocas climáticas en áreas cercanas del cultivo en Taganga (Ramírez, 1990; Garzón-Ferreira y Cano, 1991), Puerto Luz (Franco-Herrera, 2005) y el aeropuerto (Jaimes *et al.*, 2005). Los mejores resultados de crecimiento en los dos lugares de cultivo se obtuvieron al comienzo del estudio, en la época seca (Figura 4), cuando la temperatura presentó los valores más bajos (alrededor de 25 °C) (Figura 5b). Esto concuerda con otros ensayos de cultivo de esta alga en el mar (Schenkman, 1980; Guist *et al.*, 1982; Oliveira y Berchez, 1987; Berchez y Oliveira, 1989) y poblaciones naturales (Faccini y Berchez, 2000; Reis y Yoneshigue-Valentin, 2000) de latitudes más altas, los cuales reconocen los mayores crecimientos en los meses de aguas más frías (18-25 °C). A pesar que en el área de Santa Marta se evidencia una surgencia de aguas frías en los primeros meses del año, los datos obtenidos durante el estudio en esta época no registran valores de temperatura tan bajos como los antes mencionados. Los valores observados hacia el final del estudio en los sistemas de cultivo (27-29 °C), correspondientes a la época lluviosa (Figura 5b), podrían en parte explicar las bajas tasas de crecimiento durante esta época en las dos localidades. Igualmente, la biomasa de la población natural del aeropuerto fue menor en esta época del año en 2007 (Camacho-Hadad y Sánchez, 2008). Lapointe *et al.* (1976) y Berchez y Oliveira (1989) registran bajos rendimientos de esta alga a 29-30 °C.

La salinidad presentó un comportamiento similar durante casi todo el estudio (cerca de 35) y no permite argumentar las diferencias obtenidas entre las

épocas. Guist *et al.* (1982) sugieren mejores resultados en cultivos de *H. musciformis* con salinidades alrededor este valor, siendo esta una posible causa del más bajo crecimiento al final del estudio, cuando la salinidad disminuyó en la época lluviosa menor (Figura 5c). A pesar de no encontrar correlación entre los factores ambientales evaluados con la tasa de crecimiento algal, se observaron mejores resultados en la época seca mayor cuando el agua presentó menores valores de sedimentación y temperatura y mayor salinidad. Es importante para futuros ensayos de cultivo evaluar otros factores ambientales como los nutrientes y la irradiación lumínica, los cuales también determinan la viabilidad productiva de un cultivo (Santelices, 1999, 2005).

De acuerdo a los dos periodos de cosecha trabajados (semanal y quincenal), se obtuvo en ambas áreas de estudio mejores resultados en los ensayos semanales (Figura 4), lo cual concuerda con lo registrado por Berchez y Oliveira (1989), quienes manifiestan que el crecimiento de esta alga en líneas suspendidas es mayor a los siete días y va disminuyendo con el paso del tiempo. Por otro lado, se ha registrado una producción mayor a los 30 (-60) días y después de este periodo un decrecimiento (Oliveira y Berchez, 1987; Berchez y Oliveira, 1989; Berchez *et al.*, 1993). Lapointe *et al.* (1976) mencionan que después de este tiempo los talos de *H. musciformis* sufren una gran fragmentación sin poder mantener su biomasa en cultivo de tanques.

Debido a que las algas sembradas en los ensayos de cultivo se encontraron mayoritariamente en alguna fase reproductiva durante todo el estudio, su crecimiento se pudo afectar al poco tiempo dado que en este estado las macroalgas reducen su crecimiento vegetativo y aumentan el esfuerzo para formar estructuras sexuales y continuar su ciclo de vida (Lobban y Harrison, 1994). De acuerdo con esto, y los resultados de Camacho-Hadad y Sánchez (2008), se considera una limitante el bajo porcentaje de talos vegetativos en la zona del aeropuerto para la consecución de semilla con fines de cultivo de propagación asexual; pese a esto, se constituye una fuente importante para cultivos de esporulación lo cual sería importante evaluar.

La TCD promedio de *H. musciformis* obtenida (2.66 %) está dentro del ámbito registrado para ensayos de cultivo de esta especie en el mar con valores de 1.93-10% (Wallner *et al.*, 1992) y 0-13.4% (Berchez y Oliveira, 1989) utilizando redes superficiales en Brasil. Pese a esto, existen registros superiores con sistemas similares a los desarrollados, con un crecimiento diario promedio de 6 % (Schenkman, 1980) y 23.6 % (Oliveira y Berchez, 1987) en Brasil y entre 7.6-10.9 % en la costa sureste de India (Ganesan *et al.*, 2006). Incluso, Oliveira y Berchez (1987) encontraron una TCD de 56 % en ensayos de cultivo de esta especie como epífita de *Sargassum stenophyllum*. En los ensayos desarrollados en bahía de Portete (Colombia) esta especie no se ajustó a los sistemas de cultivo de líneas y mallas, evidenciándose desprendimiento total

debido probablemente al gran movimiento del agua y al método de cultivo (Delgadillo-Garzón y Newmark-Umbreit, 2008).

Teniendo en cuenta otros sistemas, como los desarrollados en condiciones cerradas, se han obtenido buenos resultados con esta especie (Lapointe *et al.*, 1976; Guist *et al.*, 1982; Bravin y Yoneshigue-Valentin, 2002) y otros han sido menos favorables (Oliveira *et al.*, 1989). Comparado con otras especies carragenófitas cultivadas actualmente como *Kappaphycus alvarezii*, los resultados de este estudio son buenos dado que Hurtado *et al.* (2001), Qian *et al.* (1996), Samonte *et al.* (1993) y Rincones y Rubio (1999) registran ámbitos de crecimiento diario de 2.3-4.2 %, 1-6 %, 1.2-2.0 % y 4.4-7.7 % respectivamente.

El rendimiento de carragenina obtenido a partir del material cultivado de *H. musciformis* fue muy bueno, similar a lo registrado por Rozo *et al.* (2008) para poblaciones naturales del área de Santa Marta. Igualmente es cercano a valores promedio de poblaciones en Brasil (Saito y Oliveira, 1990) y en cultivos en Florida (Guist *et al.*, 1982). A pesar de esto, existen registros de rendimientos más bajos en praderas naturales de esta especie en otras áreas del Caribe colombiano como La Guajira (Rozo, 2006) y Brasil, así como en sistemas de cultivo (Wallner *et al.*, 1992). El rendimiento de carragenina está estrechamente relacionado con el estado nutricional del alga (Lapointe *et al.*, 1976), lo cual infiere un buen estado del material cosechado en este estudio, pese a que este no supera al que se obtiene con otras algas carragenófitas como *Chondrus crispus* con el 50 % (Chopin y Wagey, 1999) y *Kappaphycus alvarezii* entre el 40 y el 82 % (Muñoz *et al.*, 2004; Rozo, 2006). La fuerza gel presentó valores dentro del ámbito de carrageninas comerciales (100 a 350 g/cm²); sin embargo, este coloide en *H. musciformis* tiene la capacidad de formar geles fuertes con valores más altos (Rozo, 2006). Los valores de viscosidad son mayores a los obtenidos por Wallner *et al.* (1992) y menores a los de Rozo (2006), sugiriendo ser una característica variable del coloide posiblemente relacionada con el estado fisiológico del alga y factores ambientales particulares (Wallner *et al.*, 1992). De acuerdo con Rozo *et al.* (2008), las buenas propiedades de la carragenina de *H. musciformis* del área de Santa Marta permiten su utilización en diferentes campos como la industria de alimentos y la agricultura.

Los resultados de carragenina obtenidos sugieren que *H. musciformis* puede constituir un recurso natural susceptible de ser cultivado, sin embargo, la baja biomasa obtenida manifiesta un bajo rendimiento de esta alga con el método de cultivo desarrollado. Para evaluar la factibilidad biológica y económica del cultivo de esta especie a escala comercial, es necesario continuar con más investigaciones que consideren otros sistemas de cultivo, como sustratos artificiales más grandes o mejoramiento del hábitat, para obtener una mayor adhesión de las partes vegetativas

dada la morfología de la especie. Así mismo, lograr el asentamiento de esporas debido a la gran aparición de plantas en estado reproductivo en el lugar de consecución de la semilla para la siembra.

Igualmente, es indispensable evaluar el crecimiento de esta especie en sistemas de cultivo durante todo el año para conocer el efecto de las variaciones estacionales sobre el cultivo de *H. musciformis* en la región de Santa Marta. A pesar que este estudio no evaluó la época lluviosa mayor, se generaron aportes preliminares importantes en el área de la maricultura con un alga nativa del Caribe colombiano. Estos aportes incluyen, evaluación del contenido de carragenina, datos de crecimiento en la época seca mayor y húmeda menor, y evaluación del estado reproductivo de las algas utilizadas. Este último de gran importancia y poco tenido en cuenta en ensayos de cultivo algales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Flavio Augusto Berchez, Universidade de São Paulo (Brasil), por la información bibliográfica y sugerencias suministrada durante el desarrollo de este estudio. También a Gabriel Jaramillo y la empresa Ficoloides de Colombia E.U. por la extracción y evaluación de la carragenina. Igualmente, estamos agradecidos con Adolfo Sanjuán Muñoz por su colaboración en el manejo de los datos, con la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (Colombia) por la ayuda en la consecución de información bibliográfica y por facilitar sus instalaciones de laboratorios.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, I. A. y D. P. Cheney. 1982. Commercial uses of algal products: introduction and bibliography. 779-787. En: Rosowski, J. R. y B. C. Parker (Eds.). Selected papers in phycology II. Phycological Society of America. Lawrence, Estados Unidos. 876 p.
- Alveal, K. 1995. Manejo de algas marinas. 825-863. En: Alveal, K., M. E. Ferrario, E. C. Oliveira y E. Sar (Eds.). Manual de métodos ficológicos. Univ. Concepción, Concepción, Chile. 863 p.
- Areces, A. J. 1995. Cultivo comercial de carragenófitas del género *Kappaphycus* Doty. 529-550. En: Alveal, K., M. E. Ferrario, E. C. Oliveira y E. Sar (Eds.). Manual de métodos ficológicos. Univ. Concepción, Concepción, Chile. 863 p.
- Areces A. J. y N. Céspedes. 1992. Potencialidad productiva de algunas carragenofitas del Indopacífico en aguas del Caribe. Bol. Red Acuicul., 6: 13-16.
- Baptista, G. 2009. Cultivo ecosostenible de *Kappaphycus alvarezii* en Panamá. Tesis doctoral, Univ. Las Palmas de Gran Canarias. Las Palmas de Gran Canarias, España. 243 p.
- Barrios, J. E. 2005. Dispersión del alga exótica *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales: Rhodophyta) en la región nororiental de Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, 44: 29-34.

- Berchez, F. y E. C. Oliveira. 1989. Maricultural essays with carragenophyte *Hypnea musciformis* in S. Paulo, Brazil. 89-94. En: Oliveira, E. C. y N. Kautsky (Eds.). Workshop: Cultivation of seaweeds in Latin America. International Foundation for Science. São Sebastião, Brasil. 141 p.
- Berchez, F., R. T. Pereira y N. F. Kamiya. 1993. Culture of *Hypnea musciformis* (Rhodophyta, Gigartinales) on artificial substrates attached to linear ropes. *Hidrobiología*, 260/261: 415-420.
- Bird, N. L., C. M. Chen y J. McLachlan. 1979. Effects of temperature, light and salinity on growth in culture of *Chondrus crispus*, *Furcellaria lumbricalis*, *Gracilaria tikvahiae* (Gigartinales. Rodophyta), and *Fucus serratus* (Fucales, Phaeophyta). *Bot. Mar.*, 22: 521-527.
- Bravin, I. C. y Y. Yoneshigue-Valentin. 2002. Influência de fatores ambientais sobre o crescimento *in vitro* de *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux (Rhodophyta). *Rev. Brasil. Bot.*, 25: 469-474.
- Bula-Meyer, G. 1988. Cultivo y utilización comerciales de las algas marinas. *Rev. Ing. Pesq.*, 6 (1-2): 6-54.
- Bula-Meyer, G. 1989a. Las macroalgas béticas marinas como recurso potencial económico en Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 17 (65): 383-387.
- Bula-Meyer, G. 1989b. Experimental culture in the sea of the red macroalgae *Grateloupia filicina*. 101-104. En: Oliveira E. C. y N. Kautsky (Eds.). Workshop: Cultivation of seaweeds in Latin America. International Foundation for Science. São Sebastião, Brasil. 141 p.
- Camacho-Hadad, O. y L. Sánchez. 2008. Dinámica temporal de biomasa y estados reproductivos de *Hypnea musciformis* en Punta La Loma, Magdalena: Resultados preliminares. 98. En: Garay, J. y M. C. Páez (Eds.). Seminario Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar (SENALMAR). INVEMAR, San Andrés Isla. 428 p.
- Cervigón, F., R. Cipriani, W. Fischer, L. Garibaldi, H. Hendrickx, A. J. Lemus, R. Márquez, J. M. Poutiers, G. Robaina. y B. Rodríguez. 1993. Field guide to the commercial marine and brackish-water resources of the northern coast of South America. FAO, Roma. 513 p.
- Chandrasekaran, S., N. Arun Nagendran, D. Pandiaraja, N. Krishnankutty y B. Kamalakannan. 2008. Bioinvasion of *Kappaphycus alvarezii* on corals in the Gulf of Mannar, India. *Current Science*, 94: 1167-1172.
- Chopin, T. y B.T. Wagey. 1999. Factorial study of phosphorus and nitrogen enrichments on nutrient and carrageenan content in *Chondrus crispus* (Rhodophyceae) and on residual nutrient concentration in seawater. *Bot. Mar.*, 42: 23-31.
- Delgadillo, O., M. Díaz-Ruiz y O. Lara. 2005. Experimentos preliminares en Santa Marta para integrar a las macroalgas *Gracilaria* dentro de un policultivo en La Guajira, Caribe colombiano. 56. En: Universidad de La Habana (Ed.). VII Congreso de Ficología de Latinoamérica y el Caribe. V Reunión Iberoamericana de Ficología. Univ. La Habana, La Habana. 158 p.
- Delgadillo-Garzón, O. y F. Newmark-Umbreit. 2008. Cultivo piloto de macroalgas rojas (Rhodophyta) en Bahía Portete, La Guajira, Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 37 (2): 7-26.
- Díaz-Pulido, G. y M. Díaz-Ruiz. 2003. Diversity of benthic marine algae of the Colombian Atlantic. *Biota Col.*, 4: 203-246.
- Faccini, A. L. y F. Berchez. 2000. Management of natural beds and standing stock evaluation of *Hypnea musciformis* (Gigartinales, Rhodophyta) in south-eastern Brazil. *J. Appl. Phyco.*, 12: 101-103.
- Franco-Herrera, A. 2005. Oceanografía de la ensenada de Gaira: El Rodadero, más que un centro turístico en el Caribe colombiano. Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 58 p.

- Ganesan, M., S. Thiruppathi y B. Jha. 2006. Mariculture of *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux in South east coast of India. *Aquaculture*, 256: 201-211.
- Garay-Tinoco, J., G. Ramírez, J. Betancourt, B. Marín, B. Cadavid, L. Panizzo, L. Lesmes, J. E. Sánchez, H. Lozano y A. Franco. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. Serie Documentos Generales 13, INVEMAR, Santa Marta. 177 p.
- García, C. y G. Díaz-Pulido. 2006. Dynamics of a macroalgal rocky intertidal community in the Colombian Caribbean. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 35: 7-18.
- Garzón-Ferreira, J. 1998. Bahía de Chengue, Parque Nacional Natural Tayrona, Colombia. 115-125. En: UNESCO (Ed.). CARICOMP-Caribbean Coral Reef, Seagrass and Mangrove Sites. Coastal Region and Small Islands Papers 3. Kjerfve, París. 345 p.
- Garzón-Ferreira, J. y M. Cano. 1991. Tipos, distribución, extensión y estado de conservación de los ecosistemas marinos costeros del Parque Nacional Natural Tayrona. 7º Concurso Nacional de Ecología "Enrique Pérez Arbelaez". Fondo para la protección del medio ambiente-FEN, Santa Marta. 82 p.
- Glenn, E. P., D. Moore, K. Fitzsimmons y C. Azevedo. 1996. Spore culture of the red seaweed, *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta). *Aquaculture*, 142: 59-74.
- Graham, L. E. y L. W. Wilcox. 2000. *Algae*. Prentice Hall, Upper Saddle River, Estados Unidos. 640 p.
- Guist, G. G., C. J. Dawes, y J. R. Castle. 1982. Mariculture of the red seaweed, *Hypnea musciformis*. *Aquaculture*, 28: 375-384.
- Hurtado, A. Q., R. F. Agbayani, R. Sanares y M. Castro-Mallare. 2001. The seasonality and economic feasibility of cultivating *Kappaphycus alvarezii* in Panagatan Cays, Caluya, Antique, Philippines. *Aquaculture*, 199: 295-310.
- Jaimes, J., Y. Pinzón y C. Trujillo. 2005. Explorando alternativas de pesca responsable con la langosta espinosa en Santa Marta. Informe Fundación Sila Kangama, Santa Marta. 80 p.
- Lapointe, B. E., L. D. Williams, J. C. Goldman y J. H. Ryther. 1976. The mass outdoor culture of macroscopic marine algae. *Aquaculture*, 8: 9-21.
- Lobban, C. S. y P. J. Harrison. 1994. *Seaweed ecology and physiology*. Cambridge University Press, Nueva York. 366 p.
- McHugh, D. 2002. Perspectivas para la producción de algas marinas en los países en desarrollo. FAO Circ. Pesca, 968, Roma. 30 p.
- McHugh, D. 2003. A guide to the seaweed industry. FAO Fish. Tech. Pap., 441, Roma. 105 p.
- Muñoz, J., Y. Pelegrín y D. Robledo. 2004. Mariculture of *Kappaphycus alvarezii*, (Rhodophyta, Solieriaceae) color strains in tropical waters of Yucatan, Mexico. *Aquaculture*, 239 (1-4): 161-177.
- Oliveira, E. C. y F. A. S. Berchez. 1987. Ensayos sobre el cultivo del alga roja *Hypnea musciformis* (Rhodophyta, Gigartinales) en São Paulo, Brasil. 399-409. En: Verreth, J. A. J., M. Carillo, S. Zanuy y E. A. Huisman. (Eds.). Taller Acuicultura en América Latina. Int. Found. Sci., Pudoc, Wageningen. Países Bajos. 451 p.
- Oliveira, E. C., E. J. De Paula y F. A. S. Berchez. 1989. Essays on the cultivation of tropical red seaweeds in tanks. 79-87. En: Oliveira E. C. y N. Kautsky (Eds.). Workshop: Cultivation of seaweeds in Latin America. International Foundation for Science. São Sebastião, Brasil. 141 p.

- Oliveira, E. C., E. J. Paula, E. M. Plastino y R. Petti. 1995. Metodologías para cultivo no axénico de macroalgas marinas in vitro. 429-447. En: Alveal, K., M. E. Ferrario, E. C. Oliveira y E. Sar (Eds.). Manual de métodos ficológicos. Univ. Concepción, Concepción, Chile. 863 p.
- Qian, P., C. Y. Wu, M. Wu y Y. Xie. 1996. Integrated cultivation of the red alga *Kappaphycus alvarezii* and the pearl oyster *Pinctada martensi*. *Aquaculture*, 147: 21-35.
- Ramírez, G. 1990. Evaluación de parámetros fisicoquímicos y su relación con la surgencia costera. 55-71. En: Díaz, J. M. (Ed.). Estudio ecológico integrado de la zona costera de Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona. INVEMAR, Santa Marta. 439 p.
- Reis, R. P. y Y. Yoneshigue-Valentin. 2000. Phenology of *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux (Rhodophyta, Gigartinales) in three populations from Rio de Janeiro State, Brazil. *Bot. Mar.*, 43: 299-304.
- Rincones, R. E. 1989. Experimental cultivation of an agarophyte alga: *Gracilaria cornea*. 65-67. En: Oliveira E. C. y N. Kautsky (Eds.). Workshop: Cultivation of seaweeds in Latin America. International Foundation for Science. São Sebastião, Brasil. 141 p.
- Rincones, R. E. y J. N. Rubio. 1999. Introduction and commercial cultivation of the red alga *Euclima* in Venezuela for the production of phycocolloids. *World Aquaculture*, 30: 57-61.
- Rincones, R. E. y H. M. Gallo. 2004. Programa de capacitación en el cultivo de algas marinas "Jimoula" a las comunidades del Cabo de la Vela, península de La Guajira. Informe final TCP/COL/2901, FAO, Bogotá. 192 p.
- Rozo, G. 2006. Extracción y caracterización de Kappa-carragenina a partir de *Hypnea musciformis*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, Pontificia Univ. Javeriana, Bogotá. 145 p.
- Rozo, G., C. Rozo y B. Quevedo. 2008. Extracción y caracterización fisicoquímica de Kappa Carragenina obtenida a partir de *Hypnea musciformis* recolectada en Santa Marta. 259. En: Garay, J. y M. C. Páez (Ed.). Seminario Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar (SENALMAR). INVEMAR, San Andrés Isla. 428 p.
- Sahoo, D. y C. Yarish. 2005. Mariculture of seaweeds. 219-237. En: Andersen, R. (Ed.). *Algal culturing techniques*. Elsevier Academic Press & Phycological Society of America. Augusta, Estados Unidos. 596 p.
- Saito, R. M. y E. C. Oliveira. 1990. Chemical screening of Brazilian marine algae producing carrageenans. *Hydrobiologia*, 204/205: 585-588.
- Samonte, G., A. Hurtado-Ponce y R. Caturao. 1993. Economic analysis of bottom line and raft monoline culture of *Kappaphycus alvarezii* var. *tambalang* in Western Visayas, Philippines. *Aquaculture*, 110: 1-11.
- Santelices, B. 1999. A conceptual framework for marine agronomy. *Hydrobiologia*, 398/399: 15-23.
- Santelices, B. 2005. Problemas y oportunidades para el cultivo de macroalgas en América Latina y el Caribe. 11. En: Universidad de La Habana (Ed.). VII Congreso de Ficología de Latinoamérica y el Caribe, V Reunión iberoamericana de Ficología. Univ. La Habana, La Habana. 158 p.
- Schenkman, R. P. F. 1980. Biomassa, crecimiento, reproducción e ficololóide de *Hypnea musciformis* (Rhodophyta) no litoral do Estado de São Paulo, Brasil. Instituto de Biociências. Tesis Universidade de São Paulo, São Paulo. 73 p.
- Smith, J. E., C. L. Hunter y C. M. Smith. 2002. Distribution and reproductive characteristics of nonindigenous and invasive marine algae in the Hawaiian islands. *Pacific Science*, 56: 299-315.

- Wallner, M., S. Lobo, N. Boccanera y E. Mendes Da Silva. 1992. Biomass, carrageenan yield and reproductive state of *Hypnea musciformis* (Rhodophyta: Gigartinales) under natural and experimental cultivated condition. *Aquacult. Fish. Manag.*, 23: 443-451.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical analysis*. Cuarta Edición, Prentice-Hall Inc., Nueva York. 931 p.

FECHA DE RECEPCIÓN: 17/07/2009 FECHA DE ACEPTACIÓN: 07/02/2012