

Phenology and alginates of two *Sargassum* species from the Caribbean coast of Colombia

Fenología y alginatos de dos especies de *Sargassum* de la costa caribe de Colombia

O Camacho^{1,2*}, G Hernández-Carmona³

¹ Department of Biology, University of Louisiana at Lafayette, LA 70504-2451, USA.

² Vicerrectoría de Investigación e Instituto de Investigaciones Tropicales (INTROPIC), Universidad del Magdalena, Cra. 32 No. 22-08, Santa Marta, Colombia.

³ Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, 23096 La Paz, Baja California Sur, México.

* Corresponding author. E-mail: omc1833@louisiana.edu

ABSTRACT. The genus *Sargassum* (Phaeophyceae) forms large beds on rocky shores of the Colombian Caribbean, showing large seasonal fluctuations in biomass that are related to upwelling events in the area. This study describes the phenology of two benthic species of *Sargassum* from the Caribbean coast of Colombia, and presents a preliminary assessment of the alginate concentration and properties of viscosity and gel strength to determine their potential as an exploitable resource. Samples were collected during 2007 in the Santa Marta area. The first species was identified at genus level as *Sargassum* sp. The highest values of biomass and abundance of receptacles were recorded in April and the lowest between June and February. The other species was *Sargassum cymosum*. It showed higher biomass and persisted a longer time than *Sargassum* sp. In spite of this, the biomass and reproductive period of both species were markedly seasonal and low during most of the year. Alginate yield was relatively high in both species, compared to that reported for other *Sargassum* species. The viscosity of the alginates was very low and may thus have only few applications in the industry; however, the gel strength of the alginates of both species was competitive, compared with other commercial algal products. This study suggests that while these two species of *Sargassum* in Colombia are potential candidates for the commercial production of alginates in regard to some applications, the marked seasonality of the species advises caution for a sustainable exploitation.

Key words: *Sargassum*, phenology, alginates, Caribbean, Colombia.

RESUMEN. El género *Sargassum* (Phaeophyceae) forma grandes mantos en las costas rocosas del Caribe colombiano y presenta importantes fluctuaciones estacionales de biomasa que están relacionadas con los eventos de surgencia en la zona. Este estudio describe la fenología de dos especies bentónicas de *Sargassum* de la costa caribe de Colombia, y presenta una evaluación preliminar de la concentración de alginato y las propiedades de viscosidad y fuerza de gel para evaluar su potencial como un recurso explotable. Las muestras fueron recolectadas en el área de Santa Marta en 2007. La primera especie fue identificada a nivel de género como *Sargassum* sp. Ésta alcanzó sus valores máximos de biomasa y abundancia de receptáculos en abril y los más bajos entre junio y febrero. La otra especie fue *Sargassum cymosum*. Ésta presentó mayor biomasa y persistió durante más tiempo que *Sargassum* sp. A pesar de esto, la biomasa y el periodo reproductivo de ambas especies fueron marcadamente estacionales y bajos durante la mayor parte del año. El rendimiento de alginato fue relativamente alto en ambas especies, en comparación con lo documentado para otras especies de *Sargassum*. La viscosidad del alginato fue muy baja y por lo tanto sólo puede tener algunas aplicaciones en la industria; sin embargo, la fuerza de gel del alginato en ambas especies fue competitiva, en comparación con otros productos comerciales. Este estudio sugiere que, si bien estas dos especies de *Sargassum* en Colombia son candidatas potenciales para la producción comercial de alginatos con relación a algunas aplicaciones, la marcada estacionalidad de ambas especies aconseja tener precaución para una explotación sostenible.

Palabras clave: *Sargassum*, fenología, alginatos, Caribe, Colombia.

INTRODUCTION

Benthic species of *Sargassum* constitute important ecological habitats in many tropical and temperate coastal regions (Nizamuddin 1970). The genus usually grows in large beds in rocky intertidal and subtidal areas, playing a fundamental role in the life history of associated fauna and other algae (Kilar *et al.* 1992, Martin-Smith 1992, Tanaka

INTRODUCCIÓN

Las especies bentónicas de *Sargassum* constituyen un hábitat ecológico importante en muchas regiones costeras tropicales y templadas (Nizamuddin 1970). Este género usualmente constituye grandes praderas en áreas rocosas intermareales y submareales, donde juega un papel fundamental en el ciclo de vida de la fauna asociada y otras algas

and Leite 2003). Fluctuations of abiotic factors greatly affect the dynamics of *Sargassum* populations in terms of growth, maturation, and senescence cycles (DeWreede 1976, McCourt 1984, Núñez-López and Casas-Valdez 1997, Gillespie and Critchley 1999, Stiger and Payri 1999, Ang 2006). In both tropical and temperate areas, water temperature (McCourt 1984, Glenn *et al.* 1990, Sánchez-Rodríguez and Hernández-Carmona 1998, Ang 2006), tides (Ang 1985), air temperature (Gillespie and Critchley 1999), and physicochemical factors (Trono and Lluisma 1990) have been found to play a critical role in structuring *Sargassum* populations and their phenological patterns.

Sargassum has important commercial applications as a source of alginate. This hydrocolloid is used as a gelling, thickening, stabilizing, and emulsifying agent in food, pharmaceutical, cosmetic, and biotechnology industries (McHugh 1987, Istini *et al.* 1994). Alginate is a linear glycuronan of (1,4)-linked α -L guluronate and β -D mannuronate residues arranged in a non-regular blockwise pattern along the chain (Grasdalen *et al.* 1981). Different *Sargassum* species have different alginate quality, concentration, and properties (Calumpong *et al.* 1999, Ragaza and Hurtado 1999), making their evaluation very necessary in terms of the diverse applications that each species can have in the industry.

The genus *Sargassum* forms large beds on rocky shores of the Colombian Caribbean, particularly along the coast of Santa Marta and the Tayrona National Natural Park. These beds show large annual variations in biomass, which are related to oceanographic fluctuations produced by upwelling events in the area (Bula-Meyer 1990a, 1992; Camacho-Hadad and Díaz-Pulido 2008). These events are characterized by low temperature and high salinity levels, and they have also been related to the marked seaweed seasonality in the Santa Marta area (Bula-Meyer 1977, 1985; Díaz-Pulido and Garzón-Ferreira 2002). Despite the abundance of *Sargassum* populations in the region, very little is known about the phenology and the potential commercial applications of the genus in the production of alginate.

This study describes the phenology of *Sargassum cymosum* C. Agardh and *Sargassum* sp., considered among the most abundant seaweeds in the intertidal and subtidal zones of the Santa Marta area in the Colombian Caribbean (Camacho 2003). The seasonal variations of biomass and reproductive structures are documented and discussed in relation to the oceanographic variability (temperature and salinity) in the region during 2007. A preliminary assessment of alginate production for the two species is provided in terms of concentration, viscosity, and gelling properties.

MATERIAL AND METHODS

Study area

The samples were collected in the Santa Marta area, specifically in Granate Bay (11°17'36.4" N, 74°11'24.6" W),

(Kilar *et al.* 1992, Martin-Smith 1992, Tanaka y Leite 2003). Las fluctuaciones de los factores abióticos afectan significativamente la dinámica de las poblaciones de *Sargassum* en términos de sus ciclos de crecimiento, maduración y senescencia (DeWreede 1976, McCourt 1984, Núñez-López y Casas-Valdez 1997, Gillespie y Critchley 1999, Stiger y Payri 1999, Ang 2006). Tanto en áreas tropicales como templadas, la temperatura del agua (McCourt 1984, Glenn *et al.* 1990, Sánchez-Rodríguez y Hernández-Carmona 1998, Ang 2006), las mareas (Ang 1985), la temperatura del aire (Gillespie y Critchley 1999) y los factores fisicoquímicos (Trono y Lluisma 1990) han sido relacionados como factores que juegan un papel crítico en la estructura de las poblaciones de *Sargassum* y sus patrones fenológicos.

Sargassum tiene importantes aplicaciones comerciales como fuente de alginatos. Este hidrocoloide es usado como agente gelificante, espesante o estabilizante y agente emulsificante en la industria alimenticia, farmacéutica, cosmética y biotecnológica (McHugh 1987, Istini *et al.* 1994). El alginato es un glucourunano lineal con uniones (1, 4) de residuos de α -L guluronato y β -D manuronato, arreglados de manera irregular en un patrón de bloques a lo largo de la cadena (Grasdalen *et al.* 1981). Las diferentes especies de *Sargassum* tienen diferente calidad, concentración y propiedades de su alginato (Calumpong *et al.* 1999, Ragaza y Hurtado 1999), lo que hace su evaluación muy necesaria dada las diversas aplicaciones que cada especie puede tener en la industria.

El género *Sargassum* forma grandes praderas en las costas rocosas del Caribe colombiano, particularmente a lo largo de la costa de Santa Marta y el Parque Nacional Natural de Tayrona. Estas praderas presentan una gran variación anual en su biomasa, la cual se ha relacionado con las fluctuaciones oceanográficas producidas por el evento de surgencia que ocurre en el área (Bula-Meyer 1990a, 1992; Camacho-Hadad y Díaz-Pulido 2008). Este evento se caracteriza por presentar baja temperatura del agua y altos niveles de salinidad. Incluso, se ha relacionado con la marcada estacionalidad de macroalgas en el área de Santa Marta (Bula-Meyer 1977, 1985, Díaz-Pulido y Garzón-Ferreira 2002). A pesar de la abundancia de las poblaciones de *Sargassum* en la región, se conoce muy poco acerca de su fenología y el potencial de aplicaciones comerciales de este género en la producción de alginatos.

Este estudio describe la fenología de *Sargassum cymosum* C. Agardh y *Sargassum* sp., consideradas como unas de las macroalgas más abundantes en la zona intermareal y submareal del área de Santa Marta en el Caribe colombiano (Camacho 2003). Se documenta la variación estacional de su biomasa y sus estructuras reproductivas, y se discuten con relación a la variabilidad oceanográfica (temperatura y salinidad) en la región durante 2007. Se presenta también una evaluación preliminar de la producción de alginatos para las dos especies, en términos de concentración, viscosidad y propiedad gelificante.

located in Tayrona Park on the Caribbean coast of Colombia (fig. 1). The oceanographic and climatic characteristics of this area are determined by the coastal morphology and the incidence of the NE trade winds. There are two main seasons in the area: a dry season from December to April, when upwelling occurs with cooler waters (22–25 °C) and higher salinity (≥ 36), and a rainy season from May to November, when upwelling does not occur and higher water temperatures (27–30 °C) and lower salinities (< 36) prevail (Ramírez 1990, Díaz-Pulido and Garzón-Ferreira 2002, Rodríguez-Ramírez and Garzón-Ferreira 2003). *Sargassum cymosum* is found in the intertidal zone and *Sargassum* sp. grows on the subtidal (3–4 m depth) rocky shores of the study area. The latter species is currently under taxonomic and molecular review.

Sargassum phenology

To study the seasonal dynamics of abundance and reproduction of both *Sargassum* species, biweekly or triweekly samplings were conducted from January to December 2007. For each species, five 0.25-m² quadrats were randomly

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las muestras se recolectaron en el área de Santa Marta, específicamente en la bahía de Granate (11°17'36.4" N, 74°11'24.6" O), localizada dentro del Parque Tayrona en la costa caribe de Colombia (fig. 1). Las características oceanográficas y climáticas de esta área están determinadas por la morfología de la costa y la incidencia de los vientos alisios del NE. Se presentan dos estaciones principales en esta área: la estación o época seca (diciembre–abril), cuando se presenta un evento de surgencia con aguas más frías (22–25 °C) y alta salinidad (≥ 36), y la época de lluvias (mayo–noviembre), cuando no hay surgencia y prevalecen una temperatura más alta (27–30 °C) y bajas salinidades (< 36) (Ramírez 1990, Díaz-Pulido y Garzón-Ferreira 2002, Rodríguez-Ramírez y Garzón-Ferreira 2003). *Sargassum cymosum* se encuentra en la zona intermareal y *Sargassum* sp. crece en la submareal (3–4 m de profundidad) de la zona rocosa del área de estudio. Esta última especie se encuentra actualmente en revisión taxonómica y molecular.

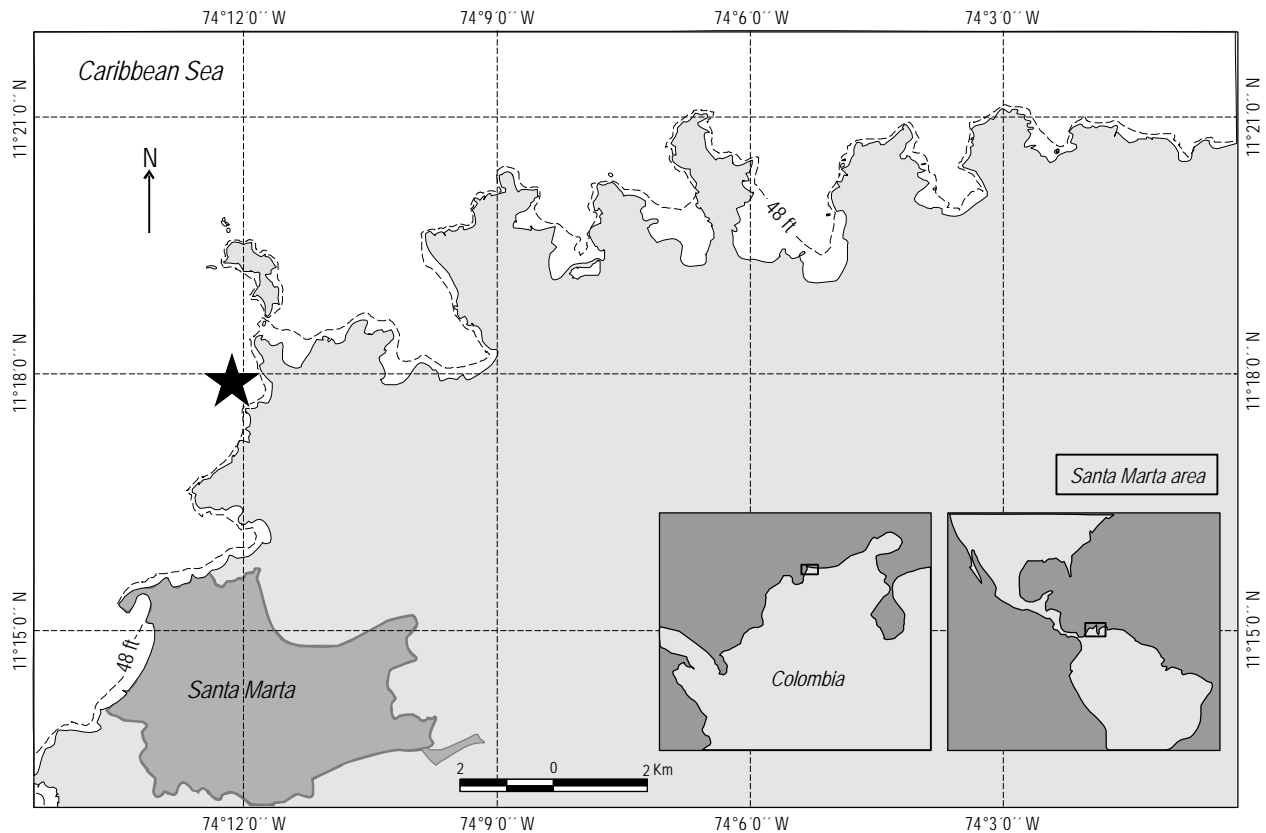


Figure 1. Study area (star) in the Colombian Caribbean. Modified from Díaz-Pulido and Garzón-Ferreira (2002).

Figura 1. Área de estudio (estrella) en el Caribe colombiano. Modificado de Díaz-Pulido y Garzón-Ferreira (2002).

selected. The quadrats were placed on the bottom at each habitat where the species occur (intertidal and subtidal) and all *Sargassum* thalli were collected from the holdfast on each sampling date. To examine the dynamics of the reproductive states, 20 thalli of each species were randomly selected from each quadrat and the relative abundance (%) of receptacles was recorded; the percentage was estimated as the number of branches with receptacles in relation to the total number of branches. To estimate the biomass, all *Sargassum* in each quadrat were sun-dried separately (ambient temperature 25–40 °C) and weighed. Algal biomass per unit area was then calculated as dry weight.

To evaluate significant differences in biomass and abundance of receptacles between sampling dates, one-way analysis of variance and Tukey's *post-hoc* test were performed separately for each species using InfoStat 2008 software. Parametric assumptions were found after \log_{10} -transformation for biomass in both species and square-transformation for receptacles in *Sargassum* sp. To relate biotic with abiotic factors, surface water temperature and salinity were measured on each sampling date. No nutrient data were obtained during the sampling period.

Alginate extraction

Seaweed samples for alginate extraction were collected during the period of highest abundance (April–May) and sun-dried (ambient temperature 30–40 °C) until the weight was stable (approximately 4 h, 12% moisture). The dry material of each species, from different sampling dates between April and May, was mixed prior to the extractions. Three replicates of each species were analyzed separately. The algae were milled to 30 meshes using a hammer mill. For alginate extraction, 30 g of dry algae were rehydrated overnight with 180 mL of distilled water and 0.18 mL of formalin. The solution was filtered and discarded. The algae were treated with 200 mL of HCl solution at pH 4 during 15 min and constant agitation (Arvizu-Higuera *et al.* 1995). After filtration, the algae were treated with 200 mL of Na₂CO₃ solution at pH 10 and 80 °C for 2 h in a water bath, with constant stirring at 800 rpm using an external stirrer (Caframo) and propeller. This alginate extract was vacuum-filtered to remove the residual algae (mainly cellulose), and the alginate in solution was precipitated with an equal volume of ethanol, stirring slowly with a glass rod. The precipitated fibrous alginate was entangled to the rod. The fiber was removed, disentangled, washed with alcohol, and dried at 50 °C during 24 h (Arvizu-Higuera *et al.* 1996). The alginate was weighed and the percentage was computed based on the initial algal weight.

Viscosity of the samples was obtained preparing 1% alginate solution and measuring with a Brookfield LVT viscometer, at 60 rpm, with the appropriate spindle, before and after adding sodium hexametaphosphate which sequesters the residual calcium (Hernández-Carmona *et al.* 1999). The

Fenología de *Sargassum*

Para estudiar la dinámica estacional de la abundancia y reproducción de ambas especies de *Sargassum*, se llevaron a cabo muestreos bimensuales o trimensuales de enero a diciembre de 2007. Para cada especie, se seleccionaron al azar cinco cuadrantes de 0.25 m². En cada fecha de muestreo, los cuadrantes se colocaron sobre el fondo de cada hábitat donde se encuentran las especies (intermareal o submareal) y se recolectaron todos los talos de *Sargassum* desde el disco basal. Para analizar la dinámica de los estados reproductivos, se seleccionaron al azar 20 talos de cada especie por cuadrante y se registró la abundancia relativa (%) de receptáculos; este porcentaje se estimó como el número de ramas con receptáculos con relación al número total de ramas. Para estimar la biomasa, todo el *Sargassum* recolectado en cada cuadrante se secó separadamente al sol (a temperatura ambiente de 25–40 °C) y luego fue pesado. La biomasa de las algas por unidad de área se calculó con base en el peso seco.

Para evaluar las diferencias significativas de la biomasa y la abundancia de receptáculos entre fechas de muestreo, se realizó un análisis de varianza de una vía y una prueba a posteriori de Tukey de manera independiente para cada especie con el programa InfoStat 2008. Los supuestos paramétricos se encontraron después de hacer una transformación de los datos a \log_{10} para la biomasa en ambas especies y una transformación a raíz cuadrada para los receptáculos de *Sargassum* sp. Para relacionar los factores bióticos con abióticos, se registró la temperatura superficial del agua y la salinidad durante cada muestreo. No se obtuvieron datos de nutrientes durante el periodo de estudio.

Extracción de alginatos

Las muestras de algas para la extracción de alginatos se recolectaron durante el periodo de máxima abundancia (abril–mayo) y se secaron al sol (temperatura ambiente de 30–40 °C) hasta obtener un peso constante (aproximadamente 4 h, 12% humedad). El material seco de cada especie, de las fechas de muestreo entre abril y mayo, se mezcló previo a la extracción. Se analizaron por separado tres replicas de cada especie. Las algas se molieron a un tamaño de 30 mallas con un molino de martillos. Para la extracción del alginato, se rehidrataron 30 g de alga seca durante una noche con 180 mL de agua destilada y 0.18 mL de formaldehído. La solución se filtró y el líquido fue descartado. Las algas fueron tratadas con 200 mL de solución de HCl a pH 4 durante 15 min y con agitación constante (Arvizu-Higuera *et al.* 1995). Después de la filtración, las algas fueron tratadas con 200 mL de solución de Na₂CO₃ a pH 10 y 80 °C durante 2 h en baño María, con agitación constante a 800 rpm usando un agitador externo (Caframo) y propela. El alginato extraído se filtró al vacío para separar el alga residual (principalmente celulosa), y el alginato en solución se precipitó con un

gelling properties of alginates in each species were obtained preparing 1% alginate solution in distilled water and filling a dialyzing membrane tube (5 cm diameter \times 2.5 cm high). The tubes were immersed in calcium chloride solution (10%) overnight to form the gels. The next day the membrane was removed, the round tips of the gels were carefully cut, and then the gel was further cut in half to obtain two cylinders. Gel strength was measured using a TA.XT Plus Texture Analyzer programmed to perform a penetration of 2 cm with a penetration time of 5 seconds. The software provided a curve with the maximum value at the break point. The value at the top of the curve was recorded in grams per square centimeter (modified from Armisen and Galatas 1987). The average of the measurements of the two gels was computed.

RESULTS

Sargassum phenology

Both species showed a marked seasonal pattern in the Santa Marta area. Plants began to grow (both sexually from new recruits and vegetatively from holdfasts of old plants) in January, when the water temperature in the area was low (24 °C) and the salinity was high (38) (fig. 2), coinciding with the beginning of the strongest upwelling period in the area.

Sargassum cymosum biomass showed significant temporal variation ($F = 42.05$, $P < 0.0001$; table 1). The biomass of this species increased gradually reaching a peak of 595 (± 211.7) g m⁻² in April, when the temperature began to increase and the salinity started to decrease (fig. 2). Then, its biomass decreased drastically to 4.7 (± 3.6) g m⁻² in August

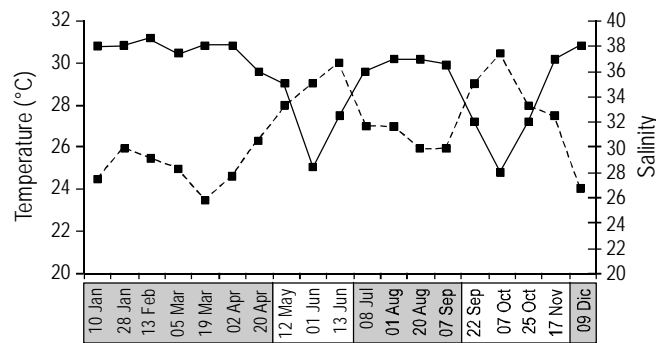


Figure 2. Variability of temperature (°C, dashed line) and salinity (continuous line) in the study area during 2007. Dates in grey squares correspond to upwelling periods or dry seasons, and dates in white squares correspond to non-upwelling periods or wet seasons.

Figura 2. Variabilidad de la temperatura (°C, línea discontinua) y salinidad (línea continua) en el área de estudio durante 2007. Las fechas en los cuadros grises corresponden a los periodos de surgencia o a las épocas secas, y las fechas en los cuadros blancos corresponden a los periodos de no surgencia o a las épocas húmedas.

volumen igual de etanol, agitando lentamente con una varilla de vidrio. Las fibras precipitadas de alginato se enrollaron a la varilla. Las fibras se removieron, se desenredaron, se lavaron con alcohol y se secaron a 50 °C durante 24 h (Arvizu-Higuera *et al.* 1996). El alginato se pesó y el porcentaje de alginato se calculó con base en el peso inicial del alga.

La viscosidad de las muestras se obtuvo preparando una solución de alginato al 1% y midiéndola con un viscosímetro Brookfield LVT, a 60 rpm, con la aguja apropiada, antes y después de añadir hexametáfosfato de sodio, el cual secuestra el calcio residual (Hernández-Carmona *et al.* 1999). La propiedad gelificante del alginato de cada especie se obtuvo preparando una solución de alginato al 1% en agua destilada y llenando un tubo de membrana de diálisis (5 cm de diámetro \times 2.5 cm de altura). Los tubos se sumergieron en una solución de cloruro de calcio (10%) durante una noche para formar los geles. Al siguiente día se separó la membrana, se recortaron cuidadosamente las puntas redondeadas y, posteriormente, se volvió a cortar el gel a la mitad para obtener dos cilindros. La fuerza de gel se midió con un analizador de textura TA.XT Plus, programado para llevar a cabo una penetración de 2 cm a una velocidad de penetración de 5 segundos. El programa esquematiza una curva con el máximo valor al punto de rompimiento. El valor en la cima de la curva fue registrado en gramos por centímetro cuadrado (modificado de Armisen y Galatas 1987). Se calculó el promedio de las mediciones de dos geles por muestra.

RESULTADOS

Fenología de *Sargassum*

Ambas especies mostraron un marcado patrón estacional en el área de Santa Marta. Las plantas comenzaron a crecer (tanto sexualmente a partir de nuevos reclutas como vegetativamente a partir de discos basales viejos) en enero, cuando la temperatura del agua en el área fue baja (24 °C) y la salinidad alta (38) (fig. 2), coincidiendo con el inicio del periodo de surgencia más fuerte en el área.

La biomasa de *S. cymosum* presentó una variación temporal significativa ($F = 42.05$, $P < 0.0001$, tabla 1). La biomasa de esta especie aumentó gradualmente y alcanzó un pico máximo de 595 (± 211.7) g m⁻² en abril, cuando la temperatura empezó a incrementar y la salinidad empezó a disminuir (fig. 2). Luego, su biomasa disminuyó drásticamente a 4.7 (± 3.6) g m⁻² en agosto y a 0.4 (± 0.1) g m⁻² en noviembre (fig. 3a). Los receptáculos en *S. cymosum* mostraron también diferencias significativas entre las fechas de muestreo ($F = 12.64$, $P < 0.0001$, tabla 1). Esta especie presentó la mayor abundancia de receptáculos (53.4%) en mayo, coincidiendo con un valor de temperatura de 28 °C y una salinidad de 35 (fig. 2). En junio se presentó un periodo corto de lluvias con alta temperatura (30 °C) y baja salinidad (28). Durante julio, agosto e inicios de septiembre, la temperatura y la

and to 0.4 (± 0.1) g m⁻² in November (fig. 3a). Receptacles in *S. cymosum* also showed significant differences among sampling dates ($F = 12.64$, $P < 0.0001$; table 1). This species showed the highest presence of receptacles (53.4%) in May, which coincided with a temperature of 28 °C and salinity of 35 (fig. 2). In June there was a short rainy season with high temperature (30 °C) and low salinity (28). In July, August, and early September, the temperature and salinity changed again (fig. 2) due to a short upwelling period that commonly occurs in the region every year. During this short upwelling period, *S. cymosum* thalli were senescent but some reproductive thalli were recorded (fig. 3a).

Sargassum sp. biomass was lower and did not persist as long as *S. cymosum*. Biomass and abundance of receptacles in *Sargassum* sp. showed significant temporal differences ($F = 25.68$, $P < 0.0001$ and $F = 13.94$, $P < 0.0001$, respectively; table 1). This species reached the highest biomass

salinidad cambiaron nuevamente (fig. 2) debido a un periodo corto de surgencia que comúnmente ocurre cada año en la región. Durante este periodo corto de surgencia, los talos de *S. cymosum* estaban senescentes pero se registraron algunos talos reproductivos (fig. 3a).

La biomasa de *Sargassum* sp. fue más baja y no persistió tanto tiempo como la de *S. cymosum*. La biomasa y la abundancia de receptáculos de *Sargassum* sp. mostraron diferencias temporales significativas ($F = 25.68$, $P < 0.0001$ y $F = 13.94$, $P < 0.0001$, respectivamente, tabla 1). Esta especie alcanzó la máxima biomasa (410.6 \pm 108.8 g m⁻²) y abundancia de receptáculos (44.5%) en abril (fig. 3b), cuando la temperatura fue de 26–27 °C y la salinidad de 36–38 (fig. 2). En mayo los talos comenzaron a ser senescentes, y entre junio y febrero se registró la biomasa más baja, con valores entre 0 y 14.85 g m⁻², además de una ausencia total de estructuras reproductivas (fig. 3b).

Table 1. Results of the Tukey *post-hoc* test. Values presented in the table correspond to mean values of back-transformed biomass and relative abundance of receptacles (with their standard deviation) on each sampling date for *Sargassum cymosum* and *Sargassum* sp. Mean values with a capital letter in common (separately for species and variables) are not significantly different ($P \leq 0.05$). Sampling dates without data correspond to values of zero.

Tabla 1. Resultados del análisis a posteriori de Tukey. Los valores presentados en la tabla corresponden a los valores promedio de biomasa y abundancia relativa de receptáculos (con su desviación estándar) en cada fecha de muestreo para *Sargassum cymosum* and *Sargassum* sp. Los valores promedio con una letra mayúscula en común (separadamente por especies y variables) no son diferentes significativamente ($P \leq 0.05$). Las fechas de muestreo sin datos corresponden a valores de cero.

Sampling date (dd/mm/year)	<i>Sargassum cymosum</i>		<i>Sargassum</i> sp.	
	Biomass (g m ⁻²)	Receptacles (%)	Biomass (g m ⁻²)	Receptacles (%)
10/01/2007	3.9 (± 2.8) ^{BC}		2.2 (± 3.9) ^{AB}	
28/02/2007	18.1 (± 5.1) ^{CD}		5.9 (± 3.2) ^{BC}	
13/02/2007	48.1 (± 46.8) ^{DE}		10.9 (± 9.2) ^{BC}	
05/03/2007	233.1 (± 229.6) ^{DEF}		51.5 (± 42.2) ^{CD}	0.3 (± 2.5) ^A
19/03/2007	394.7 (± 305.8) ^{EF}	5.8 (± 16.6) ^A	174.6 (± 144.3) ^D	2.8 (± 11.7) ^A
02/04/2007	550.7 (± 256.5) ^F	14.0 (± 26.7) ^{AB}	410.7 (± 243.4) ^D	21.0 (± 32.1) ^{BC}
20/04/2007	595.0 (± 473.4) ^{EF}	14.8 (± 28.9) ^{AB}	278.6 (± 255.1) ^D	44.5 (± 43.9) ^C
12/05/2007	656.3 (± 267.3) ^F	55.0 (± 35.9) ^C	216.5 (± 151.6) ^D	7.3 (± 13.9) ^{AB}
01/06/2007	405.8 (± 91.3) ^{EF}	39.0 (± 36.4) ^{BC}	51.8 (± 37.7) ^{CD}	
13/06/2007	375.7 (± 161.7) ^{EF}	37.8 (± 32.3) ^{BC}	14.8 (± 14.8) ^C	
08/07/2007	186.5 (± 56.6) ^{EF}	40.5 (± 30.9) ^C		
01/08/2007	5.9 (± 6.9) ^{BC}	0.25 (± 2.5) ^A		
20/08/2007	0.9 (± 0.6) ^{AB}			
07/09/2007	0.5 (± 0.3) ^{AB}			
22/09/2007	0.5 (± 0.3) ^{AB}			
07/10/2007	0.4 (± 0.3) ^A			
25/10/2007	0.4 (± 0.1) ^A			
17/11/2007	0.4 (± 0.1) ^A		0.2 (± 0.1) ^A	
09/12/2007	1.7 (± 1.4) ^{AB}		0.6 (± 0.8) ^A	

($410.6 \pm 108.8 \text{ g m}^{-2}$) and abundance of receptacles (44.5%) in April (fig. 3b), when the temperature was 26–27 °C and salinity 36–38 (fig. 2). In May the thalli became senescent, and between June and February the lowest biomass was recorded, with values between 0 and 14.85 g m^{-2} , and there was a total absence of reproductive structures (fig. 3b).

Alginate content

The concentration, viscosity, and gelling properties of the alginates from the two species collected in April–May are shown in table 2. Alginate yield was lower for *S. cymosum* (15.9%) than for *Sargassum* sp. (20.9%). The viscosity of alginates from both species without the addition of sodium hexametaphosphate was very low (12.3–21.6 mPa-s), especially in *S. cymosum*. After the addition of sodium hexametaphosphate, the viscosity in both species (7.0–14.2 mPa-s) was even lower. The gel strength of alginates was high and similar for both taxa, measuring 709–866 g cm^{-2} (table 2).

DISCUSSION

Sargassum phenology

This study shows a strong seasonal dynamics of two tropical brown macroalgae. Although the two *Sargassum* species investigated here showed important phenological differences, the population biomass and reproductive dynamics are to some extent related to the seasonal upwelling that occurs in the area. The annual upwelling events in the Colombian Caribbean have been well documented (Fajardo 1979, Bula-Meyer 1990b, Ramírez 1990, Cabrera and Donoso 1993, Rodríguez-Ramírez and Garzón-Ferreira 2003), with lower values of temperature and higher values of salinity than in non-upwelling periods. The abiotic variables

Contenido de alginato

La concentración, viscosidad y propiedad gelificante del alginato de las dos especies recolectadas en abril–mayo se muestran en la tabla 2. El rendimiento del alginato fue menor en *S. cymosum* (15.9%) que en *Sargassum* sp. (20.9%). La viscosidad del alginato de ambas especies sin la adición de hexametáfosfato de sodio fue muy baja (12.3–21.6 mPa-s), especialmente en *S. cymosum*. Después de la adición de hexametáfosfato de sodio, la viscosidad en ambas especies fue aún menor (7.0–14.2 mPa-s). La fuerza de gel del alginato fue alta y similar entre las dos especies, con valores de 709–866 g cm^{-2} (tabla 2).

DISCUSIÓN

Fenología de *Sargassum*

Este estudio muestra una marcada dinámica estacional de dos macroalgas pardas tropicales. A pesar de que las dos especies de *Sargassum* investigadas mostraron diferencias fenológicas importantes, la biomasa poblacional y la dinámica reproductiva están en alguna medida relacionadas con la surgencia estacional que ocurre en el área. Los eventos de surgencia anuales en el Caribe colombiano han sido bastante documentados (Fajardo 1979, Bula-Meyer 1990b, Ramírez 1990, Cabrera y Donoso 1993, Rodríguez-Ramírez y Garzón-Ferreira 2003), con valores más bajos de temperatura y más altos de salinidad que en los periodos sin surgencia. Las variables abióticas registradas durante el año de muestreo corresponden al patrón estacional descrito para la región (fig. 2), con dos épocas principales (seca, con surgencia de diciembre a abril; lluviosa, sin surgencia de mayo a noviembre) y un periodo intermedio o corta surgencia de julio a agosto. En este corto periodo, la temperatura no es tan baja y

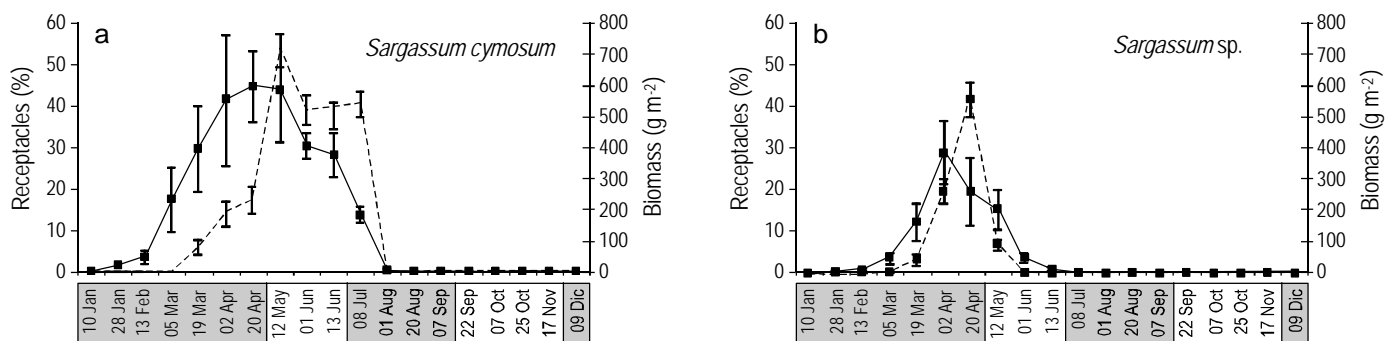


Figure 3. Seasonal dynamics of biomass (g m^{-2} , continuous line) and percentage of receptacles (dashed line) of (a) *Sargassum cymosum* and (b) *Sargassum* sp. in the Colombian Caribbean during 2007. Values are means \pm standard error ($n = 5$). Dates in grey squares correspond to upwelling periods or dry seasons, and dates in white squares correspond to non-upwelling periods or wet seasons.

Figura 3. Dinámica estacional de la biomasa (g m^{-2} , línea continua) y porcentaje de receptáculos (línea discontinua) de *Sargassum cymosum* (a) y *Sargassum* sp. (b) en el Caribe colombiano durante 2007. Los valores son promedios \pm error estándar ($n = 5$). Las fechas en los cuadros grises corresponden a los periodos de surgencia o a las épocas secas, y las fechas en los cuadros blancos corresponden a los periodos de no surgencia o a las épocas húmedas.

Table 2. Alginate yield (%), and viscosity and gelling properties of alginates from *Sargassum cymosum* and *Sargassum* sp. (mean \pm standard error, $n = 3$). SHM = Sodium hexametaphosphate.**Tabla 2.** Contenido de alginato (%), y viscosidad y propiedad gelificante de los alginatos de *Sargassum cymosum* y *Sargassum* sp. (promedio \pm EE, $n = 3$). SHM = hexametafosfato de sodio.

Species	Sodium alginate yield (%)	Viscosity without SHM (mPa-s)	Viscosity with SHM (mPa-s)	Gel strength (g cm ⁻²)
<i>Sargassum cymosum</i>	15.9 (\pm 1.5)	12.3 (\pm 1.2)	7.0 (\pm 1.9)	709.7 (\pm 224.6)
<i>Sargassum</i> sp.	20.9 (\pm 3.5)	21.6 (\pm 3.4)	14.2 (\pm 1.4)	866.0 (\pm 172.6)

recorded during the sampling year corresponded to the seasonal pattern described for the region (fig. 2), with two main seasons (dry/upwelling from December to April and rainy/non-upwelling from May to November) and an intermediate, short upwelling period from July to August. During this short period, the temperature is not as low and the salinity not as high as during the main upwelling season from December to April (Rodríguez-Ramírez and Garzón-Ferreira 2003) (fig. 2). Interestingly, during the year of the present study (2007), the short upwelling period lasted longer than usual, from July to the beginning of September (fig. 2). In spite of this, the phenology of *Sargassum* in 2007 had a similar pattern to previous years (pers. obs.).

Nutrient levels can also vary throughout the year. According to Rodríguez-Ramírez and Garzón-Ferreira (2003), who carried out measurements between 1993 and 1999 near the study area, in Chengue Bay (Tayrona Park), silicate was the only nutrient that showed a strong correlation with seasons. This nutrient was higher during the rainy periods (with maximum mean monthly values of up to $14.19 \pm 6.47 \mu\text{M}$ in October) and lower in the upwelling periods (with maximum mean monthly values of $0.12 \pm 0.07 \mu\text{M}$ in March). Conversely, ammonium, phosphorus, and nitrites were highly variable and did not show a clear seasonal pattern in that study (mean annual values of 0.80, 0.10, and $0.07 \mu\text{M}$, respectively). These authors also pointed out that high levels of phosphorus and nitrites can be more influenced by river runoff than by upwelling events. Regarding this, Ramírez (1987) mentioned that in Neguanje Bay (Tayrona Park), river runoff can supply more nutrients than upwelling events. Recently, Arévalo-Martínez and Franco-Herrera (2008) suggested that the mean values of nitrates ($9.48 \pm 0.49 \mu\text{M}$) increased in Gaira Bay (15 km from Tayrona Park) during upwelling events, supplied by the deep waters. No differences were found between upwelling and rainy periods in nitrite, ammonium, and phosphate concentrations (mean values of 0.35 ± 0.02 , 1.08 ± 1.11 , and $0.29 \pm 0.01 \mu\text{M}$, respectively). They classified the upwelling events as mesotrophic, indicating that nutrient coastal levels in the area are very variable and may be further supplied by river runoff mainly during rainy periods. In our study, *S. cymosum* and *Sargassum* sp. reached highest biomass and receptacle abundance in April–May, suggesting that nutrients are not the sole factor leading to the peaks in abundance. However,

la salinidad no es tan alta como ocurre durante la temporada principal de surgencia de diciembre a abril (Rodríguez-Ramírez y Garzón-Ferreira 2003) (fig. 2). De manera interesante, durante el año de este estudio (2007), el periodo de corta surgencia fue más prolongado de lo normal, de julio a principios de septiembre (fig. 2). A pesar de esto, la fenología de *Sargassum* en 2007 presentó un patrón similar que en años anteriores (obs. pers.).

Los valores de nutrientes también pueden variar a lo largo del año. De acuerdo con Rodríguez-Ramírez y Garzón-Ferreira (2003), quienes llevaron a cabo mediciones cerca del área de estudio entre 1993 y 1999 en la bahía Chengue (Parque Tayrona), el silicato fue el único nutriente que mostró una fuerte correlación con las épocas climáticas. Este nutriente presentó los niveles más altos durante los periodos de lluvia (con un promedio mensual máximo de hasta $14.19 \pm 6.47 \mu\text{M}$ en octubre) y los niveles más bajos en la época de surgencia (con un promedio mensual máximo de $0.12 \pm 0.07 \mu\text{M}$ en marzo). Por el contrario, el amonio, el fósforo y los nitritos fueron altamente variables y no mostraron un patrón estacional claro en ese estudio (con valores anuales promedio de 0.80, 0.10 y $0.07 \mu\text{M}$, respectivamente). Estos autores incluso mencionan que los altos niveles de fósforo y nitritos pueden estar más influenciados por la descarga de los ríos que por los eventos de surgencia. Respecto a esto, Ramírez (1987) mencionó que en la bahía Neguanje (Parque Tayrona), la descarga de los ríos puede traer más nutrientes que los eventos de surgencia. Recientemente, Arévalo-Martínez y Franco-Herrera (2008) sugirieron un incremento en los valores promedio de nitratos ($9.48 \pm 0.49 \mu\text{M}$) en bahía Gaira (a 15 km de distancia del Parque Tayrona), los cuales son suministrados por aguas profundas durante los eventos de surgencia. No encontraron diferencias entre los periodos de surgencia y de lluvias en cuanto a las concentraciones de nitritos, amonio y fosfato (valores promedio de 0.35 ± 0.02 , 1.08 ± 1.11 y $0.29 \pm 0.01 \mu\text{M}$, respectivamente). Estos autores clasifican los eventos de surgencia como mesotróficos, señalando que los niveles costeros de nutrientes en el área son muy variables y pueden estar siendo suministrados por la descarga de los ríos, principalmente durante las temporadas de lluvias. En este estudio, *S. cymosum* y *Sargassum* sp. alcanzaron su máxima biomasa y abundancia de receptáculos en abril–mayo, lo que sugiere que los nutrientes no son el único factor que conduce a los picos de

it would be relevant in future studies to carefully relate temporal changes in biomass and reproduction of Colombian *Sargassum* to nutrient levels in the water column and in algal tissues, even with isotopes.

Marked seasonality has been observed in populations of different species of *Sargassum* around the world. This variability has been generally attributed to variations in water temperature. Some populations experience higher biomass and reproduction during the colder months, e.g., in Hawaii (De Wreede 1976), the Gulf of California (McCourt 1984, Espinoza and Rodríguez 1987), and northern Philippines (Hurtado and Ragaza 1999). Other *Sargassum* populations develop dense beds during the warmer periods, e.g., in the mid-northern Philippines (Ang 1985); Great Barrier Reef, Australia (Vuki and Price 1994); Brazil (Paula and Oliveira 1980, Mafra and Cunha 2006); and Gulf of California (Rivera and Scrosati 2006). There are also contrasting seasonal patterns among species within a region (Prince and O'Neal 1979, Prince 1980, Sánchez-Rodríguez and Hernández-Carmona 1998, Calumpong *et al.* 1999) and within a locality (Martin-Smith 1992, Gillespie and Critchley 1999, Ang 2006).

While a similar seasonal pattern of *S. cymosum* was observed in southern Brazil (Santa Catarina), which coincided with low peaks of biomass and reproduction in the last months of the year (winter–spring) and with high peaks in April (late summer) (Mafra and Cunha 2006), much lower biomass values were recorded in Brazil ($327.1 \pm 84.3 \text{ g m}^{-2}$) than in our study. In another study carried out in Brazil (Sao Paulo), Paula and Oliveira (1980) also reported high variability in the seasonal dynamics of *S. cymosum*, but with a different annual pattern and higher biomass than that observed by Mafra and Cunha (2006) and in our study. Paula and Oliveira (1980) reported a biomass of 800.8 g m^{-2} in December (late spring), declining to 400 g m^{-2} in April (autumn). The studied Colombian populations of both species displayed different biomass values and reproductive effort, but both presented marked seasonal patterns associated with the annual oceanographic variations in the area and with the natural cycle of these populations.

Alginate content

Although the alginate yield was lower in *S. cymosum* than in *Sargassum* sp. (table 2), the values are higher compared to those previously published for *Sargassum* species (Casas-Valdez 1982, Gillespie and Critchley 1999, Ragaza and Hurtado 1999, Brito 2001, Yabur *et al.* 2007, Rodríguez-Montesinos *et al.* 2008). Despite this, higher alginate yield values have also been reported for the genus: 35% by Hernández-Carmona (1985) and Omar *et al.* (1988), and 41% by Ragaza and Hurtado (1999). Particularly for *S. cymosum*, Carrasquero and Palma (1984) reported similar values of sodium alginate (17.9%) in Venezuela, compared to the 15.9% value obtained in this study. In southern Brazil,

abundancia. Sin embargo, sería relevante que en futuros estudios se compararan cuidadosamente los cambios temporales de la biomasa y la reproducción de *Sargassum* de Colombia con los niveles de nutrientes en la columna de agua y con los tejidos del alga, incluso con isotopos.

Se ha observado una marcada variación estacional en poblaciones de diferentes especies de *Sargassum* alrededor del mundo. Esta variabilidad ha sido atribuida generalmente a las variaciones de la temperatura del agua. Algunas poblaciones presentan mayor biomasa y reproducción durante los meses fríos, e.g., en Hawai (De Wreede 1976), el golfo de California (McCourt 1984, Espinoza y Rodríguez 1987) y el noreste de Filipinas (Hurtado y Ragaza 1999). Otras poblaciones de *Sargassum* forman praderas densas durante los periodos cálidos, e.g., en la parte media-noreste de Filipinas (Ang 1985); La Gran Barrera de Coral, Australia (Vuki y Price 1994); Brasil (Paula y Oliveira 1980, Mafra y Cunha 2006); y el golfo de California (Rivera y Scrosati 2006). Incluso, hay patrones estacionales contrastantes entre especies en una misma región (Prince y O'Neal 1979, Prince 1980, Sánchez-Rodríguez y Hernández-Carmona 1998, Calumpong *et al.* 1999) y en una misma localidad (Martin-Smith 1992, Gillespie y Critchley 1999, Ang 2006).

A pesar de observarse un patrón estacional similar de *S. cymosum* en el sur de Brasil (Santa Catarina), el cual coincide con picos bajos de biomasa y reproducción en los últimos meses del año (invierno–primavera) y con picos altos en abril (finales de verano) (Mafra y Cunha 2006), se encontraron valores de biomasa mucho más bajos en Brasil ($327.1 \pm 84.3 \text{ g m}^{-2}$) que en este estudio. En otro estudio llevado a cabo en Brasil (Sao Paulo), Paula y Oliveira (1980) también observaron una alta variabilidad en la dinámica estacional de *S. cymosum*, pero con un patrón anual diferente y mayores biomásas que las que mencionan Mafra y Cunha (2006) y las de este estudio. Paula y Oliveira (1980) registraron una biomasa de 800.8 g m^{-2} en diciembre (finales de primavera), que disminuyó a 400 g m^{-2} en abril (otoño). Las poblaciones de las dos especies estudiadas en Colombia presentaron diferentes valores de biomasa y esfuerzo reproductivo; sin embargo, ambas mostraron un marcado patrón estacional relacionado con las variaciones anuales de las condiciones oceanográficas en el área y con el ciclo de vida natural de estas poblaciones.

Contenido de alginato

Aunque el contenido de alginato fue más bajo en *S. cymosum* que en *Sargassum* sp. (tabla 2), los valores fueron más altos comparados con otros previamente publicados para especies de *Sargassum* (Casas-Valdez 1982, Gillespie y Critchley 1999, Ragaza y Hurtado 1999, Brito 2001, Yabur *et al.* 2007, Rodríguez-Montesinos *et al.* 2008). A pesar de esto, también se han registrado valores de alginato más altos para el género: 35% por Hernández-Carmona (1985) y Omar *et al.* (1988), y 41% por Ragaza y Hurtado (1999). Particularmente, para *S. cymosum*, Carrasquero y Palma (1984)

Andreazza *et al.* (2009) determined values ranging from 12.4% to 25.5% for *S. cymosum* depending on the season, and Mafra and Cunha (2006) reported values from 22.9% in April (late summer) to 28.9% in November (spring).

In this study, alginate content was measured only from samples obtained in April–May, a period that corresponds to the months of highest abundance and reproduction, considering the practical use of the species (as both species show low biomass during the rest of the year). However, alginate values for *S. cymosum* and *Sargassum* sp. in the study area may vary during different stages of thallus development in the population. For instance, Gillespie and Critchley (1999) observed an alginate yield pattern in mixed *Sargassum* populations on the east coast of South Africa, with a peak in the cool winter months that corresponds to the reproductive peak, but it did not coincide with the higher biomass. Likewise, in the central Philippines, Calumpong *et al.* (1999) found that four species showed different patterns in alginate yield and viscosity in relation to growth stages. Although the biomass of the two Colombian species is very low most of the year to support a continuous exploitation of this resource, it would be appropriate, for future potential applications, to evaluate their possible temporal variation of alginates and properties in relation to the environmental conditions of the area and thallus development.

The low alginate viscosity from both species studied, especially *S. cymosum*, indicates that the alginate obtained may have few applications in the industry as a thickener because most of the applications (e.g., in sauces, syrups, and ice cream toppings) require higher viscosity (400–800 mPa·s) (McHugh 1987). Andreazza *et al.* (2009) reported a great variability in the viscosity of this species, ranging from 18.3 mPa·s in autumn to 62.6 mPa·s in spring. Moreover, for other *Sargassum* species, such as *S. sinicola*, Rodríguez-Montesinos *et al.* (2008) reported much higher values of alginate viscosity (191.7 mPa·s in winter) than in our study. Ragaza and Hurtado (1999) observed differences in viscosity between seasons and reproductive state, with the highest value of 178 mPa·s for *S. ilicifolium* and the lowest value of 50 mPa·s for *S. carpophyllum*. The alginate viscosity of the two species studied was low; however, the gel strength of the alginate from the two taxa was high and could find uses in commercial products, since many industries use polysaccharides (alginates, agar, carrageenan) that typically contain 750 g cm⁻² of gel strength (Armisen and Galatas 1987). The high gel strength is explained by the higher proportion of guluronic acid (G) content in relation to manuronic acid (M). The G blocks allow the binding of calcium ions between two chains, creating a stronger structure than M blocks (McHugh 1987). It is now known that the gel strength is independent of the molecular weight of the alginate (Martinsen *et al.* 1989). For the genus *Sargassum* it has been demonstrated that G blocks are dominant in the alginate molecule (Murillo-Álvarez and Hernández-Carmona 2007) and therefore produce stronger gels. This physical property provides the

documentaron valores similares de alginato de sodio (17.9%) en Venezuela, comparado con el 15.9% obtenido en este estudio. En el sur de Brasil, Andreazza *et al.* (2009) determinaron un intervalo entre 12.4% y 25.5% para *S. cymosum* dependiendo de la estación climática, y Mafra y Cunha (2006) registraron valores de 22.9% en abril (finales del verano) a 28.9% en noviembre (primavera).

En este estudio, el contenido de alginato se evaluó sólo en las muestras obtenidas en abril–mayo, periodo que corresponde a los meses de mayor abundancia y reproducción, considerando el uso práctico de las especies (ya que ambas muestran baja biomasa durante el resto del año). Sin embargo, los valores de alginato para *S. cymosum* y *Sargassum* sp. en el área de estudio podrían variar durante las diferentes etapas de desarrollo de los talos en la población. Por ejemplo, Gillespie y Critchley (1999) observaron que el patrón de contenido de alginato en poblaciones mezcladas de *Sargassum* en la costa de Sudáfrica presentó un pico en los meses fríos de invierno, pero no coincide con la mayor biomasa. Igualmente, Calumpong *et al.* (1999) encontraron que cuatro especies en la parte central de Filipinas presentaron patrones diferentes en su contenido de alginato y su viscosidad en relación con sus estados de desarrollo. Aunque la biomasa de las dos especies de Colombia es muy baja la mayor parte del año para sostener una explotación continua de este recurso, sería apropiado, para futuras aplicaciones potenciales, evaluar su posible variación temporal en su alginato y sus propiedades en relación con las condiciones ambientales del área y el desarrollo de los talos.

La baja viscosidad del alginato en los dos especies estudiadas, especialmente en *S. cymosum*, indica que el alginato obtenido puede tener pocas aplicaciones como espesante en la industria, ya que la mayoría de las aplicaciones (e.g., en salsas, jarabes y cubiertas para helados) requieren una mayor viscosidad (400–800 mPa·s) (McHugh 1987). Andreazza *et al.* (2009) observaron una gran variación en la viscosidad de esta especie (*S. cymosum*), con intervalos entre 18.3 mPa·s en otoño y 62.6 mPa·s en primavera. También, en otras especies de *Sargassum*, como *S. sinicola*, Rodríguez-Montesinos *et al.* (2008) registraron valores de viscosidad mucho más altos (191.7 mPa·s en invierno) que en este estudio. Ragaza y Hurtado (1999) observaron diferencias en la viscosidad del alginato entre estaciones y estados reproductivos, con el valor más alto de 178 mPa·s para *S. ilicifolium* y el más bajo de 50 mPa·s para *S. carpophyllum*. La viscosidad de las dos especies estudiadas fue baja; sin embargo, la fuerza de gel del alginato de los dos taxa fue alta y podría encontrar usos en productos comerciales, ya que muchas industrias emplean polisacáridos (alginatos, agar, carragenano) que comúnmente tienen una fuerza de gel de 750 g cm⁻² (Armisen y Galatas 1987). Esta mayor fuerza de gel se explica por la alta proporción de ácido gulurónico (G) en relación con el ácido manurónico (M). Los bloques G permiten que se unan los iones de calcio entre dos cadenas, creando una estructura más fuerte que los bloques M (McHugh 1987). Actualmente se sabe que

opportunity of using the alginate obtained from *Sargassum* in novel applications in which high gel strength is needed, while still maintaining the porosity (Mørc 2008). For example, alginate from *Sargassum* has been used successfully to produce microencapsulation of beneficial bacteria for slow release products to enhance terrestrial plant growth (Yabur *et al.* 2007).

Even though the gelling properties (gel strength) obtained for the alginate from the two species suggest that they may be considered a good option for some commercial applications, the industry should be aware of the strong seasonality of the abundance. We found low biomass during most of the year; i.e., *S. cymosum* and *Sargassum* sp. biomass was extremely low during 6 and 9 months, respectively. It is also important to note the reduced reproductive period (particularly for *Sargassum* sp.), so the industry should harvest the algae after reproduction to assure their persistence in the environment. Knowledge of the reproductive periods and seasonal variations in biomass of populations is of the utmost necessity to determine the optimal harvest period and ensure sustainable exploitation. Additionally, despite *Sargassum* beds being common throughout the Santa Marta coast, they are distributed in local patches. For example, *Sargassum* sp. beds only occur in a few localities with a discrete and reduced range (tens of square meters). While data for estimating *Sargassum* biomass on the Caribbean coast of Colombia are lacking, the present study contributes substantially to the evaluation of this resource. It is expected that in future studies *Sargassum* biomass estimation for the Colombian coast will be possible. In any case, if the species are commercially harvested, the best time to harvest *S. cymosum*, which has a broader distribution and higher biomass than *Sargassum* sp. in the Santa Marta area, would be during June–July, just after the maximum reproduction peak and prior to the senescence of the thalli, when biomass is still available. Another recommendation is not to harvest the algal holdfasts of these pseudoperennial populations, but only the erect branches in order to allow the thalli to regenerate from the holdfast. New *S. cymosum* individuals in the study area were observed to grow again vegetatively from the perennial holdfasts that remain in the substratum when the conditions are favorable again (pers. obs.).

Since the two populations studied may not be sufficient to sustain a commercial factory, an additional source of raw material should be considered. Other localities along the Caribbean coast of Colombia should be evaluated. Alternatively, supplementary raw material with possible similar properties could be purchased from the phycollid industry in neighboring countries such as Peru and Chile that heavily exploit this resource.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study is part of the MSc thesis of OC (Magdalena University, Colombia). GHC acknowledges receipt of a

la fuerza de gel es independiente del peso molecular del alginato (Martinsen *et al.* 1989). Se ha demostrado que en el género *Sargassum* los bloques G son dominantes en la molécula del alginato (Murillo-Álvarez y Hernández-Carmona 2007) y por lo tanto producen geles más fuertes. Esta propiedad física provee la oportunidad de usar el alginato obtenido de *Sargassum* en aplicaciones novedosas donde se requiera una alta fuerza de gel, pero que se mantenga aún su porosidad (Mørc 2008). Por ejemplo, el alginato de *Sargassum* ha sido utilizado exitosamente para producir microencapsulados de bacterias benéficas, para la liberación lenta de productos y para mejorar el crecimiento de plantas terrestres (Yabur *et al.* 2007).

A pesar de que la propiedad gelificante (fuerza de gel) obtenida del alginato de las especies estudiadas sugiere que éstas pueden ser consideradas como una buena opción para algunas aplicaciones comerciales, la industria debe estar consciente de la gran estacionalidad de su abundancia. Se encontró baja biomasa durante la mayor parte del año; i.e, la biomasa de *S. cymosum* y *Sargassum* sp. fue extremadamente baja durante seis y nueve meses, respectivamente. También es importante resaltar el reducido periodo reproductivo (particularmente para *Sargassum* sp.), por lo que la industria debería cosechar el alga después de la reproducción para asegurar su persistencia en el medio. El conocimiento de los periodos reproductivos y las variaciones estacionales de la biomasa en las poblaciones son de necesidad imperativa para conocer el óptimo periodo de cosecha y asegurar una explotación sustentable. Adicionalmente, a pesar de que las praderas de *Sargassum* son frecuentes a lo largo de la costa de Santa Marta, éstas están distribuidas en parches locales. Por ejemplo, las praderas de *Sargassum* sp. se encuentran sólo en unas cuantas localidades con un intervalo discreto y reducido (decenas de metros cuadrados). Aunque se carece de datos estimados de la biomasa de *Sargassum* para la costa caribe de Colombia, el presente estudio contribuye sustancialmente con la evaluación de este recurso. Se espera que en futuros estudios sea posible la estimación de la biomasa de *Sargassum* en la costa colombiana. De cualquier forma, si las especies son explotadas comercialmente, la mejor época para cosechar *S. cymosum*, que tiene una distribución más amplia y mayor biomasa que *Sargassum* sp. en el área de Santa Marta, sería en junio–julio, justo después de su pico máximo de reproducción y antes de la senescencia del talo, cuando la biomasa aún está disponible. Se recomienda también no cosechar las plantas desde el disco basal en estas poblaciones pseudoperennes; sólo se deben recolectar las ramas erectas para permitir la regeneración del talo desde el disco. Se observaron, en el área de estudio, a individuos de *S. cymosum* creciendo nuevamente a partir de los discos basales perennes cuando las condiciones fueron nuevamente favorables (obs. pers.).

Debido a que las dos poblaciones estudiadas podrían no ser suficientes para mantener una producción comercial, se debe considerar una fuente adicional de material prima.

fellowship granted under the program of exclusivity of the “Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas del IPN (COFAA)” and also the program “Estímulo al Desempeño de los Investigadores del IPN (EDI)”. Thanks to S Fredericq, T Sauvage, and G Díaz-Pulido for comments on the manuscript, and to MG Amador-Martínez for help with the extraction procedures.

REFERENCES

- Andreazza F, Maas MM, Pessatti ML, Bellé Bresolin TM. 2009. Release of theophylline from hydrophilic matrices containing sodium alginate from seasonal *Sargassum cymosum* (Phaeophyta). *Rev. Cubana Farm.* 43: 1–8.
- Ang PO. 1985. Phenology of *Sargassum siliquosum* J. Ag. and *S. paniculatum* J. Ag. (Sargassaceae, Phaeophyta) in the Reef Flat of Balibago (Calatagan, Philippines). *Proc. 5th Int. Coral Reef Congress, Tahiti* 2: 10 pp.
- Ang PO. 2006. Phenology of *Sargassum* spp. in Tung Ping Chau Marine Park, Hong Kong, SAR, China. *J. Appl. Phycol.* 18: 629–636.
- Arévalo-Martínez DL, Franco-Herrera A. 2008. Características oceanográficas de la surgencia frente a la ensenada de Gaira, departamento del Magdalena, época seca menor de 2006. *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín* 37: 131–162.
- Armisen R, Galatas F. 1987. Production properties and uses of agar. In: McHugh DJ (Ed), *Production and Utilization of Products from Commercial Seaweeds*. FAO Fish. Tech. Pap. 288, Rome, pp. 1–57.
- Arvizu-Higuera DL, Hernández-Carmona G, Rodríguez-Montesinos YE. 1995. Sistemas de carga y flujo continuo durante la etapa de preextracción ácida en el proceso de extracción de alginatos. *Cienc. Mar.* 21: 25–37.
- Arvizu-Higuera DL, Hernández-Carmona G, Rodríguez-Montesinos YE. 1996. Efecto de la temperatura y el tiempo de extracción en el proceso de extracción de alginato de sodio a partir de *Macrocystis pyrifera*. *Cienc. Mar.* 22: 511–521.
- Brito L. 2001. Extracción de alginato de sodio a partir de *Sargassum vulgare* (Fucales, Phaeophyta). IX Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar (COLACMAR), San Andrés Isla, Colombia. Resumen ampliado, pp. 1–5.
- Bula-Meyer G. 1977. Algas marinas bénticas indicadoras de un área afectada por aguas de surgencia en la costa Caribe de Colombia. *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín* 9: 45–71.
- Bula-Meyer G. 1985. Un núcleo nuevo de surgencia en el Caribe colombiano detectado en correlación con las macroalgas. *Bol. Ecotrop.* 14: 3–20.
- Bula-Meyer G. 1990a. Altas temperaturas estacionales del agua como condición disturbadora de las macroalgas del Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano: Una hipótesis. *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín* 19–20: 9–21.
- Bula-Meyer G. 1990b. Oceanografía. In: Jimeno MC (ed.), *Caribe Colombia*. FEN, Colombia, pp. 135–153.
- Bula-Meyer G. 1992. El Parque Nacional Tayrona, costa Caribe de Colombia: Importancia ecológica y económica de la macroflora marina y condiciones oceanográficas. *Rev. Ing. Pesq.* 12: 31–44.
- Cabrera E, Donoso M. 1993. Estudio de las características oceanográficas del Caribe colombiano, Región III, Zona 1, PDCTM. *Bol. Cient. CIOH* 13: 19–32.
- Calumpong HP, Maypa AP, Magbanua M. 1999. Population and alginate yield and quality assessment of four *Sargassum* species in Negros Island, central Philippines. *Hydrobiologia* 398/399: 211–215.
- Otras localidades de la costa caribe de Colombia deben ser evaluadas. Alternativamente, se puede comprar materia prima adicional con posibles propiedades similares de la industria de ficocoloides en países vecinos, como Perú y Chile, que explotan grandes cantidades de este recurso.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio hace parte de la tesis de maestría de OC (Universidad del Magdalena, Colombia). GHC agradece a los siguientes programas por la beca de exclusividad otorgada: “Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas del IPN (COFAA)” y “Estímulo al Desempeño de los Investigadores del IPN (EDI)”. Agradecemos a S Fredericq, T Sauvage y G Díaz-Pulido sus comentarios al manuscrito original, y a MG Amador-Martínez su ayuda en el proceso de extracción de alginatos.

- Camacho O. 2003. El género *Sargassum* C. Agardh 1820 (Phaeophyta-Fucales) del Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano. BSs dissertation, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia, 107 pp.
- Camacho-Hadad O, Díaz-Pulido G. 2008. Fenología del alga parda *Sargassum* en el Parque Tayrona, Caribe colombiano. Seminario Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar (SENALMAR), San Andrés Isla, Colombia. Resumen, p. 37.
- Carrasquero G, Palma H. 1984. Contenido de alginato en dos especies de algas Phaeophyta: *Padina gymnospora* (Kützinger) Vickers y *Sargassum filipendula* C.A. Agardh de las costas de la Isla de Margarita, Venezuela. *Acta Cient. Venez.* 35: 456–473.
- Casas-Valdez MM. 1982. Avance para la industrialización de los alginatos en México. *Ser. Téc. CICIMAR* 1: 1–20.
- DeWreede RE. 1976. The phenology of three species of *Sargassum* (Sargassaceae, Phaeophyta) in Hawaii. *Phycologia* 15: 175–183.
- Díaz-Pulido G, Garzón-Ferreira J. 2002. Seasonality in algal assemblages on upwelling-influenced coral reefs in the Colombian Caribbean. *Bot. Mar.* 45: 284–292.
- Espinoza J, Rodríguez H. 1987. Seasonal phenology and reciprocal transplantation of *Sargassum sinicola* Setchell et Gardner in the southern Gulf of California. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 110: 183–195.
- Fajardo G. 1979. Surgencia costera en las proximidades de la Península colombiana de la Guajira. *Bol. Cient. (Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas)* 2: 7–19.
- Gillespie RD, Critchley AT. 1999. Phenology of *Sargassum* spp. (Sargassaceae, Phaeophyta) from Reunion Rocks, KwaZulu-Natal, South Africa. *Hydrobiologia* 398/399: 201–210.
- Glenn EP, Smith CM, Doty MS. 1990. Influence of antecedent water temperatures on standing crop of *Sargassum* spp. dominated reef flat in Hawaii. *Mar. Biol.* 105: 323–328.
- Grasdalen H, Larsen B, Smidsrod O. 1981. C.N.M.R. studies of monomeric composition and sequence in alginate. *Carbohydr. Res.* 89: 179–191.
- Hernández-Carmona G. 1985. Variación estacional del contenido de alginatos en tres especies de feofitas de Baja California Sur, México. *Invest. Mar. CICIMAR* 2: 29–45.
- Hernández-Carmona G, McHugh DJ, Arvizu-Higuera DL, Rodríguez-Montesinos YE. 1999. Pilot plant scale extraction of alginate from *Macrocystis pyrifera*. Part 1. The effect of

- pre-extraction treatments on the yield and quality of alginate. *J. Appl. Phycol.* 10: 507–513.
- Hurtado AQ, Ragaza AR. 1999. *Sargassum* studies in Currimao, Ilocos Norte, Northern Philippines. I. Seasonal variations in the biomass of *Sargassum carpophyllum* J. Agardh, *Sargassum ilicifolium* (Turner) C. Agardh and *Sargassum siliquosum* J. Agardh (Phaeophyta, Sargassaceae). *Bot. Mar.* 42: 321–32.
- Istini S, Ohno M, Kusunose H. 1994. Methods of analysis for agar, carrageenan and alginate in seaweed. *Bull. Mar. Sci. Fish. Kochi Univ.* 14: 49–55.
- Kilar JA, Hanisak MD, Yoshida T. 1992. On the expression of phenotypic variability: Why is *Sargassum* so taxonomically difficult? In: Abbott IA (ed.), *Taxonomy of Economic Seaweeds with Reference to Some Pacific and Caribbean Species*. III. California Sea Grant College, La Jolla, California, pp. 95–117.
- Mafra LL Jr, Cunha SR. 2006. *Sargassum cymosum* (Phaeophyceae) in southern Brazil: Seasonality of biomass, recovery after harvest and alginate yield. *J. Coast. Res.* 39: 1861–1866.
- Martin-Smith KM. 1992. Seasonal variation in tropical benthic *Sargassum* and associated motile epifauna. *Proc. 7th Coral Reef Symposium, Guam, Vol. 2*, pp. 881–886.
- Martinsen A, SkjBk-Braek G, Smidsrsd O. 1989. Alginate as immobilization material: I. Correlation between chemical and physical properties of alginate gel beads. *Biotech. Bioeng.* 33: 79–89.
- McCourt R. 1984. Seasonal patterns of abundance, distributions and phenology in relation to growth strategies of three *Sargassum* species. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 74: 141–156.
- McHugh DJ. 1987. Production, properties and uses of alginates. In: McHugh DJ (ed.), *Production and Utilization of Products from Seaweeds*. FAO, Rome, pp. 58–115.
- Mørøc YA. 2008. Novel alginate microcapsules for cell therapy. PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology. ISBN 978-82-471-6891-2, 74 pp.
- Murillo-Álvarez JI, Hernández-Carmona G. 2007. Monomer composition and sequence of sodium alginate extracted at pilot plant scales from three commercially important seaweeds from Mexico. *J. Appl. Phycol.* 19: 545–548.
- Nizamudin M. 1970. Phytogeography of the Fucales and their seasonal growth. *Bot. Mar.* 13: 131–139.
- Núñez-López RA, Casas-Valdez MM. 1997. Variación estacional de la biomasa y talla de *Sargassum* spp. (Sargassaceae, Phaeophyta) en la Bahía de Concepción, BCS, México. *Hidrobiológica* 7: 19–25.
- Omar S, Ahmad N, Ahmad F. 1988. Composition of alginates from brown seaweeds, *Sargassum* and *Padina* spp. *Pertanika* 11: 79–78.
- Paula EJ, Oliveira FC. 1980. Aspectos fenológicos de duas populações de *Sargassum cymosum* (Phaeophyta-Fucales) do litoral de São Paulo, Brasil. *Bol. Bot. Univ. S. Paulo* 8: 21–39.
- Prince JS, O'Neal SW. 1979. The ecology of *Sargassum pteropleuron* Grunow (Phaeophyceae, Fucales) in the waters off south Florida. I. Growth, reproduction and population structure. *Phycologia* 18: 109–114.
- Prince JS. 1980. The ecology of *Sargassum pteropleuron* Grunow (Phaeophyceae, Fucales) in the waters off south Florida. II. Seasonal photosynthesis and reproduction of *S. pteropleuron* and its comparison with that of *S. polyceratium* Mont. *Phycologia* 19: 190–193.
- Ragaza AR, Hurtado AQ. 1999. *Sargassum* studies in Currimao, Ilocos Norte, northern Philippines. II. Seasonal variations in alginate yield and viscosity of *Sargassum carpophyllum* J. Agardh, *S. ilicifolium* (Turner) C. Agardh and *S. siliquosum* J. Agardh (Phaeophyta, Sargassaceae). *Bot. Mar.* 42: 327–331.
- Ramírez G. 1987. Características hidrodinámicas y composición química de los sedimentos de la bahía de Neguanje, Caribe colombiano. *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín* 17: 15–26.
- Ramírez G. 1990. Evaluación de parámetros fisicoquímicos y su relación con la surgencia costera. In: Díaz JM (ed.), *Estudio Ecológico Integrado de la Zona Costera de Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona, Santa Marta*. INVEMAR, pp. 55–71.
- Rivera M, Scrosati R. 2006. Population dynamics of *Sargassum lapazeanum* (Fucales, Phaeophyta) from the Gulf of California, Mexico. *Phycologia* 45: 178–189.
- Rodríguez-Montesinos YE, Arvizu-Higuera DL, Hernández-Carmona G. 2008. Seasonal variation on size and chemical constituents of *Sargassum sinicola* Setchell et Gardner from Bahía de La Paz, Baja California Sur, Mexico. *Phycol. Res.* 56: 33–38.
- Rodríguez-Ramírez A, Garzón-Ferreira J. 2003. Monitoreo de arrecifes coralinos, pastos marinos y manglares en la bahía de Chengue (Caribe colombiano) 1993–1999. INVEMAR Santa Marta 8, 170 pp.
- Sánchez-Rodríguez I, Hernández-Carmona G. 1998. Factores biológicos que afectan el crecimiento del alga café *Sargassum sinicola* (Fucales, Phaeophyta) en Bahía Magdalena, BCS, México. In: *Anales del IV Congreso Latino-americano, II Reunión Ibero-americano y VII Reunión Brasileña de Ficología*. II, pp. 299–308.
- Stiger V, Payri CE. 1999. Spatial and seasonal variations in the biological characteristics of two invasive brown algae, *Turbinaria ornata* (Turner) J. Agardh and *Sargassum mangarevense* (Grunow) Setchell (Sargassaceae, Fucales) spreading on the reefs of Tahiti (French Polynesia). *Bot. Mar.* 42: 295–306.
- Tanaka MO, Leite FP. 2003. Spatial scaling in the distribution of macrofauna associated with *Sargassum stenophyllum* (Martens) Martius: Analysis of faunal group, gammarid life habits, and assemblage structure. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 293: 1–22.
- Trono GC Jr, Lluisma AO. 1990. Seasonality of standing crop of a *Sargassum* (Fucales, Phaeophyta) bed in Bolinao, Pangasinan, Philippines. *Hydrobiologia* 204/205: 331–338.
- Vuki VC, Price IR. 1994. Seasonal changes in the *Sargassum* populations on a fringing coral reef, Magnetic Island, Great Barrier Reef region, Australia. *Aquat. Bot.* 8: 153–166.
- Yabur R, Bashan Y, Hernández-Carmona G. 2007. Alginate from the macroalgae *Sargassum sinicola* as a novel source for microbial immobilization material in wastewater treatment and plant growth promotion. *J. Appl. Phycol.* 19: 43–53.

Received March 2011,
received in revised form November 2011,
accepted January 2012.