

Evaluación del crecimiento de *Euचेuma isiforme* (Rhodophyta, Gigartinales) en sistemas de cultivo suspendidos en la isla de Cubagua, Venezuela (sureste del Mar Caribe)

Evaluation of growth of *Euचेuma isiforme* in suspended culture systems in Cubagua island, Venezuela (southeastern Caribbean Sea)

Emily Del Valle Montoya Rosas^{1,3}, Jesús Alberto Rosas Cabrera², Raúl Ernesto Rincones León³, José Lorenzo Narváez Rodríguez¹

¹Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Nueva Esparta

²Instituto de Investigaciones Científicas de la Universidad de Oriente, Nueva Esparta

³Agromarina Biorma Aquaculture C.A.

Correspondencia: Emily Del Valle Montoya Rosas  E-mail: emilymontoya03@gmail.com

Artículo original | Original article

Palabras clave

Maricultura
Macroalgas
Caribe
Euचेuma isiforme
Venezuela

RESUMEN | El cultivo de algas rojas constituye la más reciente expansión en la producción global de macroalgas. Las especies más cultivadas son *Kappaphycus alvarezii*, *K. striatus* y *Euचेuma denticulatum*, principales fuentes de materia prima para la producción de carragenina. Debido a los diferentes beneficios socioeconómicos generados por la maricultura de algas, diversos países han adoptado esta actividad como fuente alternativa de ingresos en sus comunidades costeras. Con miras a contribuir con el desarrollo de la maricultura de macroalgas en Venezuela se llevó a cabo un estudio preliminar del crecimiento de *Euचेuma isiforme*, una especie endémica del mar Caribe y productora de iota-carragenina. En este estudio fueron evaluados dos sistemas de cultivo suspendidos: horizontal (*long line*) y vertical (balsa flotante). La técnica de cultivo consistió en amarrar implantes vegetativos por medio de rafias plásticas conocidas como *tie-tie* a líneas principales de polipropileno de 6 mm de diámetro. El peso promedio inicial de los implantes estuvo comprendido entre 20-25 g, con una densidad de siembra de 0,06 kg.m⁻² en el sistema horizontal y 0,02 kg.m⁻² en el sistema vertical. El bioensayo tuvo una duración de 9 semanas entre los meses de febrero-abril 2017, registrándose una variación en el crecimiento de la biomasa a través del tiempo. La tasa diaria de crecimiento promedio (biomasa húmeda) fue 5,54 ± 0,31 % en el sistema horizontal y 6,69±0,12% en el vertical. El crecimiento de *E. isiforme* registrado durante este trabajo en la bahía de Charagato es alto con respecto a otras experiencias de cultivo realizadas en la cuenca del Caribe, considerándose por tanto un sitio adecuado para la maricultura comercial de macroalgas en Venezuela.

Keywords

Mariculture
Seaweed
Caribbean
Euचेuma isiforme
Venezuela

ABSTRACT | The cultivation of red algae represents the most recent expansion in the global production of macroalgae. The most cultivated species are *Kappaphycus alvarezii*, *K. striatus* and *Euचेuma denticulatum*, which are the main sources of raw material for carrageenan production. Due to the different socio-economic benefits generated by seaweed mariculture, several countries have adopted this activity as an alternative livelihood in coastal communities. In order to contribute on the development of macroalgae mariculture in Venezuela, a preliminary field study on the growth of *Euचेuma isiforme*, an endemic iota-carrageen species from the Caribbean Sea, was carried out. Two suspended culture systems were evaluated: horizontal (*long line*) and vertical (floating raft). The cultivation technique consisted of tying vegetative implants using plastic raffias (*tie-tie*) to main polypropylene lines of 6 mm in diameter. The initial average weight of the implants varied between 20-25 g, with a planting density of 0.06 kg.m⁻² in the horizontal system and 0.02 kg.m⁻² in the vertical system. The bioassay lasted nine weeks between February-April 2017, recording a variation on biomass growth over time. The daily growth rate (wet biomass) was 5.54 ± 0.31 % in the horizontal system and 6.69 ± 0.12% in the vertical one. The growth of *E. isiforme* recorded during this study in Charagato Bay is considered high when compared to other cultivation experiences carried out in the Caribbean basin, being considered an adequate site for the development of commercial seaweed mariculture in Venezuela.

INTRODUCCIÓN

Eucheuma isiforme es una especie productora de carragenina tipo iota endémica del mar Caribe (Dawes *et al.* 1976, Cheney y Dawes 1980). Esta macroalga se encuentra de forma natural en la región donde es localmente abundante, particularmente en las Antillas Menores, Cuba, Península de Yucatán (México), Belice y sur de la Florida (Cheney y Dawes 1980). *E. isiforme* ha sido objeto de estudio en Florida (EE.UU.) donde se realizaron cultivos bajo condiciones controladas (Dawes 1989). El rendimiento de la carragenina y las viscosidades encontradas en diversas investigaciones estuvieron dentro de los niveles requeridos para las aplicaciones industriales, sugiriendo su potencial como especie de interés comercial para la industria de ficocoloides (Hayashi *et al.* 2017). En Venezuela, *E. isiforme* fue inicialmente reportada en el Parque Nacional Mochima en la década de los 60 por Rodríguez de Ríos (1965) y se encuentra en forma natural en la Isla de Cubagua, estado Nueva Esparta.

En la península de Yucatán (México), *E. isiforme* ha sido la especie más estudiada en términos de contenido de carragenina, estacionalidad y características químicas. Gran parte de estas investigaciones se han realizado en México (Robledo 2006, Freile-Peigrín *et al.* 2006a,b, Freile-Peigrín y Robledo 2008, Robledo y Freile-Peigrín 2011). En la costa oeste de la península de Yucatán se realizaron extracciones de los bancos naturales entre 1977 y 1980. Pérez-Enríquez (1996a,b) evaluó la biomasa, densidad y peso promedio de las poblaciones naturales de *E. isiforme* en el estado de Campeche donde además realizó cultivos experimentales empleando un sistema de balsas flotantes, evaluando diversas densidades de siembra en 4 tiempos de cosecha, obteniendo tasas diarias de crecimiento entre 1,21% y 2,21%

En América Central, *E. isiforme* ha recibido bastante atención como la principal especie que proporciona biomasa para la producción comercial de *iota carragenina* (Santos 1989, Smith y Rincones 2006, Hayashi *et al.* 2017). Resultados preliminares de cultivo con *E. isiforme* en Belice en el año 1991 mostraron altas tasas de crecimiento (tiempo de duplicación de 10-12 días) bajo las diferentes condiciones de cultivo (Smith y Rincones 2006, Rincones 2011). En el archipiélago cubano, se realizaron cultivos pilotos con *E. isiforme* en la península de Varadero empleando sistemas de cuerdas de polipropileno y estacas de madera (Areces 1995). Esta especie se ha cultivado con fines alimenticios en las Antillas Menores (Smith 1997). En isla de Barbuda se cosechó comercialmente hasta la década de 1980 donde se usó localmente y se exportó para aplicaciones alimenticias tradicionales (Hayashi *et al.* 2017).

En las Antillas Francesas, se cultivaron implantes vegetativos de *E. isiforme* en las islas de Guadalupe y Martinica a partir del material obtenido de bancos naturales en la isla de San Martín durante la década de los 80 (Barbaroux *et al.* 1984). En Santa Lucía, el cultivo del alga se remonta a principios de la década de los 90 (Smith 1992). Los granjeros cultivaron *E. isiforme* a partir de implantes importados desde Belice, convirtiéndose en el año 2000 en la principal especie de cultivo reemplazando a *Gracilaria* spp. (Rincones 2011). De igual forma, en San Vicente y las Granadinas *E. isiforme* ha sido la principal especie cultivada como fuente para la producción de bebidas nutricionales. En la península de La Guajira en el Caribe colombiano se cultivaron experimentalmente *G. tenuifrons*, *Hydropuntia cornea* y *E. isiforme*, especies nativas con miras a evaluar su crecimiento y factibilidad técnico-económica para el establecimiento de granjas marinas comerciales. La implementación de estos sistemas y métodos de cultivo sirvió de base para la transferencia tecnológica a las comunidades locales (Rincones y Moreno 2011).

Con respecto a las experiencias de cultivo de macroalgas en Venezuela, las primeras evaluaciones para la producción industrial con las especies productoras de agar (*Gracilaria cornea* y *Gracilariopsis lemaneiformis* = *G. tenuifrons*) se realizaron a principios de la década de los 90 insertando implantes vegetativos en cuerdas de polipropileno, las cuales se encontraban sujetas a balsas de madera y bambú (Rincones *et al.* 1992). Debido a problemas de sedimentación, epifitismo y herbivorismo, se desarrolló otro método de cultivo empleando cuerdas fijadas a estructuras flotantes en aguas más profundas (Racca *et al.* 1993). En el año 1996 fueron introducidos desde Filipinas implantes de *Kappaphycus alvarezii* y *Eucheuma denticulatum* en la costa norte de la península de Araya e isla de Coche (Rincones y Rubio 1999, Rincones 2000, Smith y Rincones 2006). Ambas especies se adaptaron a las condiciones locales y fueron cultivadas comercialmente luego de una fase experimental de dos años, exportando cerca de 150 TM de algas secas a

plantas procesadoras en Dinamarca, Francia y Chile entre los años 1999-2001 (Rincones y Rubio 1999, Rincones 2000, Smith y Rincones 2006).

La maricultura de macroalgas carragenófitas se ha convertido en una actividad con un gran potencial socio-económico, especialmente para las comunidades costeras de países en vías de desarrollo del sudeste asiático, India, África oriental e islas del Pacífico, permitiendo el acceso a la educación, formación y mejora de las comunicaciones, entre otros beneficios sustanciales y donde las comunidades costeras han adoptado el cultivo de algas como fuente alternativa de ingresos (Neish y Suryanarayan 2017).

En las aguas caribeñas se cuenta con especies de alto valor comercial y áreas con vocación acuícola como la bahía de Charagato en la isla de Cubagua. El presente estudio evalúa el crecimiento de la especie nativa *E. isiforme* con la finalidad de contribuir con el conocimiento para el desarrollo y expansión de la maricultura de macroalgas en el Caribe.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El cultivo experimental de *E. isiforme* se realizó en la bahía de Charagato (372830,16 E, 1197004,96 N-WGS 84 UTM Zona 20 N), Isla de Cubagua, Estado Nueva Esparta, Venezuela (Fig. 1).

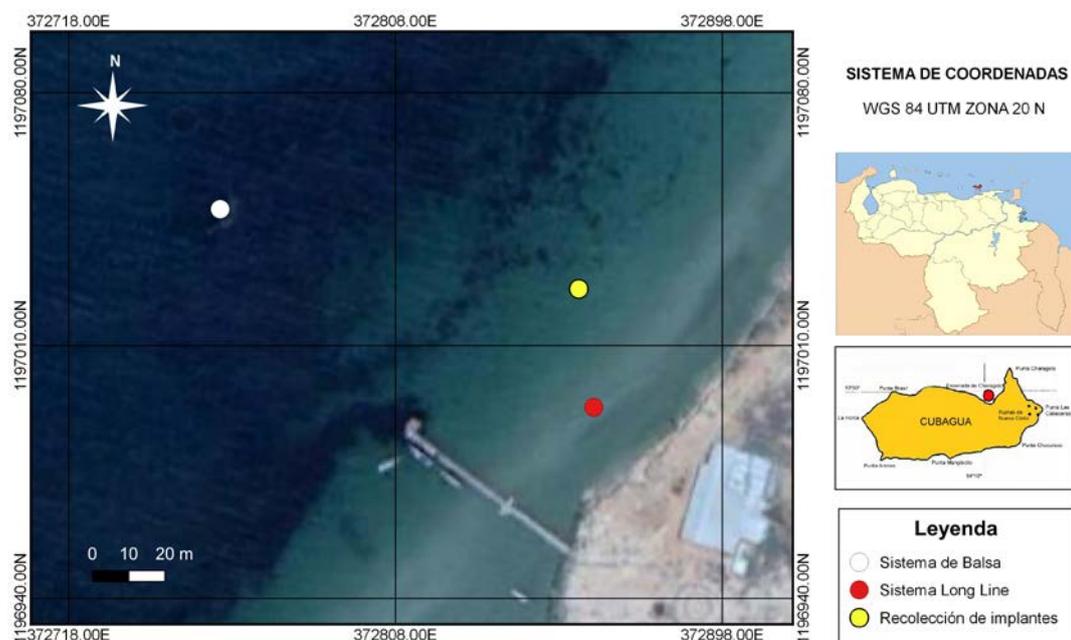


Figura 1. Ubicación de los bioensayos de cultivo de *Eucheuma isiforme* en la isla de Cubagua, Estado Nueva Esparta, Venezuela.

Material algal

Implantes vegetativos de *E. isiforme* fueron recolectados de una población silvestre ubicada en la bahía de Charagato. Las algas se encontraban de forma natural enterradas parcialmente en los fondos arenosos en profundidades promedio de 0,5-2 m. Un total de 20 kg fueron recolectados. Las algas se colocaron en sacos de polietileno para su traslado a la estación experimental de la Universidad de Oriente, ubicada en la misma localidad. Los implantes colectados se limpiaron de forma manual, de impurezas y organismos epífitos empleando bandejas y recipientes plásticos en ambiente sombreado para evitar su desecación. Todo el material recolectado fue sembrado el mismo día en las cuerdas para dar inicio a los bioensayos.

Diseño del cultivo experimental

Fueron evaluados dos sistemas de cultivo a partir del crecimiento vegetativo de implantes de *E. isiforme*. Los sistemas empleados fueron: *long line* horizontal y balsa flotante vertical.

Long Line Horizontal (LLH): Este sistema de cultivo consistió en amarrar implantes de *E. isiforme* a una línea principal ubicada de manera horizontal con un nudo corredizo usando rafia plástica conocida como *tie-tie*. Se instalaron 7 líneas de cuerdas de polipropileno de 5 mm de diámetro y 25 m de largo suspendidas con boyas hechas con botellas de polietileno tereftalato (PET) de 2 l (vacías y recicladas). Las cuerdas fueron fijadas al fondo marino usando sacos de polietileno de 8 kg rellenos de arena y se colocaron paralelas a la costa, a una profundidad de 0,8-1,5 m (Fig. 2). Los implantes fueron atados a las cuerdas de polipropileno con una separación de 20 cm y un peso de 20-25 g, para un peso inicial de 2,5-3,1 kg por cuerda (125 implantes/línea) que correspondió a una densidad inicial de 0,06 kg.m⁻².

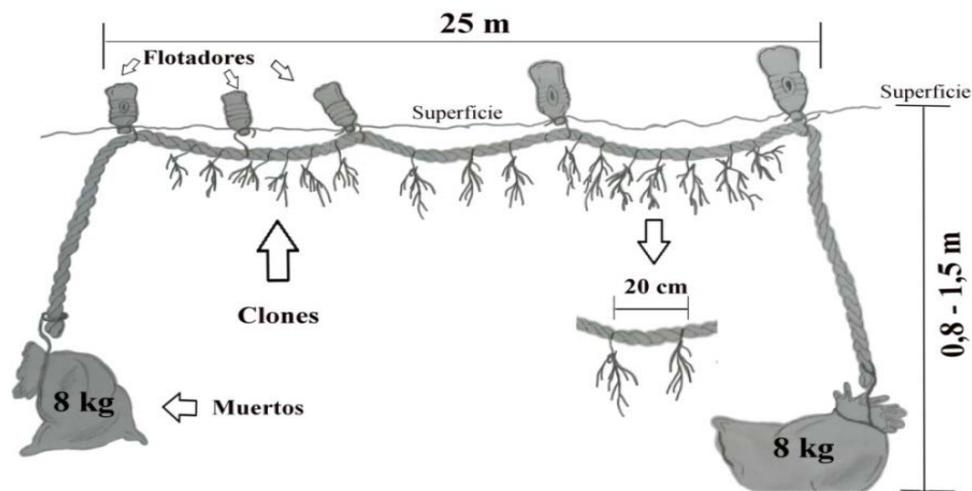


Figura 2. Modelo del sistema de cultivo *long line*.

Balsa Flotante Vertical (BFV): Este sistema se empleó para evaluar el crecimiento de los implantes de *E. isiforme* hasta 3 m de profundidad. Se colocaron de forma vertical un total de 7 líneas de polipropileno de 6 mm de diámetro y 3 m de longitud en una balsa flotante circular ubicada a 90 m de la línea de costa (Fig. 3). La balsa tiene un diámetro de 7,96 m y un área superficial de 49,76 m² y fue empleada previamente para el cultivo de peces marinos. La balsa está hecha con un tubo de polietileno de alta densidad de 110 mm de diámetro y fijada al fondo a través de lastres de cemento de 30 kg. Al igual que en el sistema de *long line* horizontal, fue utilizada la técnica de amarre *tie-tie*, atando implantes de *E. isiforme* a cada cuerda con una separación de 20 cm y un peso de 20-25 g por implante, para un peso inicial de 0,300-0,375 kg por cuerda (15 implantes por cada línea) y una densidad inicial de siembra de 0,02 kg.m⁻². Al final de cada cuerda se sujetaron lastres de 1-2 kg.



Figura 3. Modelo del sistema de balsa flotante vertical.

Período de crecimiento y cosecha

A partir de la primera semana de cultivo se retiraron aleatoriamente de las cuerdas del sistema de LLH un total de 30 implantes de *E. isiforme*, los cuales fueron pesados y colocados nuevamente en las líneas de cultivo. Esta evaluación se realizó cada 7 días durante todo el período de estudio comprendido entre el 24 de febrero y el 21 de abril del año 2017 (63 días de evaluación). Las cuerdas verticales colocadas en el sistema BFV se dividieron en tres zonas: profundidad 0-1 m, profundidad 1-2 m y profundidad 2-3 m. A partir de la primera semana de cultivo se tomaron aleatoriamente 3 líneas, retirando de cada zona 3 implantes y pesando un total de 9 implantes por línea. Esta operación también se realizó cada 7 días.

Factores ambientales determinados

Se realizaron mediciones semanales de temperatura y salinidad del agua superficial en cada una de las localidades adyacentes a los dos sistemas de cultivo. La temperatura del agua se determinó 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 TRANS Instruments con una precisión $\pm 0,2$ ‰.

Análisis de datos

Tasa diaria de crecimiento (TDC): Se determinó a través de la fórmula empleada por Muñoz *et al.* (2004):

$$TDC = (Ln [N_t / N_0] / t) \times 100 \quad (1)$$

Dónde: N_t = Biomasa final. N_0 = Biomasa inicial. t = Tiempo de cultivo en días.

Rendimiento neto húmedo por hectárea mensual (RNHM- TM húmedas. $ha^{-1}.mes^{-1}$) y anual (RNHA- TM húmedas. $ha^{-1}.año^{-1}$): Se determinó a través de las fórmulas:

$$TM \text{ húmedas. } ha^{-1}.año^{-1} = \left(\frac{kg \text{ Hum L} * N^{\circ} L Ha}{1000} \right) * n^{\circ} \text{ cosechas anual} \quad (2)$$

Dónde: kg Hum L= Peso promedio en kg húmedos cosechados por línea. $N^{\circ} L Ha$ = Número de líneas sembradas por hectárea.

$$TM \text{ húmedas. } ha^{-1}.mes^{-1} = \frac{TM \text{ húmedas. } ha^{-1}.año^{-1}}{12} \quad (3)$$

Rendimiento neto seco por hectárea mensual (RNHM- TM secas. $ha^{-1}.mes^{-1}$) y anual (RNHA- TM secas. $ha^{-1}.año^{-1}$): Se determinó estimando la relación peso húmedo- peso seco y posteriormente el rendimiento a través de las fórmulas:

$$Relación \text{ peso húmedo} - \text{seco} = \frac{\text{Peso húmedo de la muestra}}{\text{Peso seco obtenido}} \quad (4)$$

$$TM \text{ húmedas. } ha^{-1} = \left(\frac{kg \text{ Hum L} * N^{\circ} L Ha}{1000} \right) / Relación \text{ húmedo} - \text{seco} \quad (5)$$

Dónde: kg Hum L= Peso promedio en kg húmedos cosechados por línea. $N^{\circ} L Ha$ = Número de líneas sembradas por hectárea.

$$TM \text{ secas. } ha^{-1}.año^{-1} = TM \text{ secas. } ha^{-1} * n^{\circ} \text{ cosechas anual} \quad (6)$$

$$TM \text{ secas. } ha^{-1}.mes^{-1} = \frac{TM \text{ secas. } ha^{-1}.año^{-1}}{12} \quad (7)$$

Análisis estadístico: Los valores obtenidos no cumplieron los supuestos necesarios para realizar las pruebas paramétricas, es por esta razón que se realizó la prueba de Kruskal-Wallis con el fin de determinar posibles diferencias significativas entre el peso de las macroalgas y las profundidades (0-1 m, 1-2 m y 2-3 m). Además, fue utilizada la prueba de correlación ordinal de Spearman para determinar las posibles interacciones entre el peso de los implantes y los parámetros de salinidad y temperatura para los dos sistemas de cultivo evaluados durante el periodo de estudio. Los análisis fueron realizados con el software Statgraphics Centurion XVII.

RESULTADOS

Long Line Horizontal (LLH)

Durante el cultivo de *E. isiforme* empleando el sistema *long line* horizontal se observó un incremento en la biomasa promedio (Fig. 4). Durante la fase experimental la temperatura promedio del agua fue $25,88 \pm 0,78$ °C, con un mínimo de 25 °C y un máximo de 27 °C. La salinidad promedio obtenida fue $36,11 \pm 1,96$ ‰, con un mínimo de 33 ‰ y un máximo de 39 ‰ (Fig. 5).

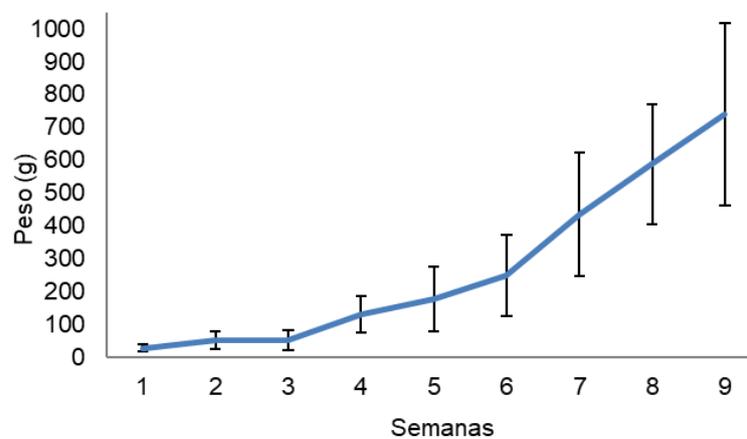


Figura 4. Peso promedio semanal de *Eucheuma isiforme* obtenidos en el sistema de cultivo *long line*.

La biomasa promedio de los implantes aumentó al transcurrir el periodo de estudio, observándose un crecimiento exponencial e incrementando con ello la variabilidad de los pesos obtenidos en cada semana con respecto al peso promedio y obteniendo una mayor dispersión de los pesos en la semana final de cultivo. Los implantes en general exhibieron una coloración en tonos verde claro-amarillentos con talos gruesos y rígidos (Fig. 8). El valor de *P* obtenido en la prueba de correlación de Spearman ($P < 0,001$) muestran la existencia de una correlación significativa entre el peso de los implantes con la temperatura y salinidad.

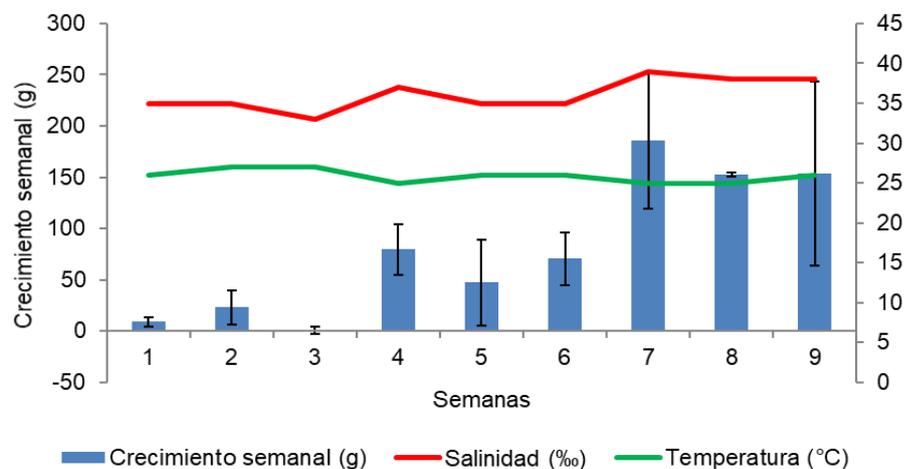


Figura 5. Incremento de la biomasa semanal de implantes de *Eucheuma isiforme* en el sistema de cultivo *long line* y las variaciones de temperatura y salinidad.

Balsa Flotante Vertical (BFV)

Durante el cultivo de *E. isiforme* empleando el sistema vertical se observó un aumento sostenido de la biomasa en todas las profundidades, evidenciando un crecimiento exponencial e incrementando la variabilidad de los pesos con respecto al valor promedio en todo el período de estudio. Al mismo tiempo, se registró una mayor dispersión de los pesos en la semana final, especialmente en la profundidad 0-1 m donde el rango de dispersión fue más amplio con respecto a las otras profundidades evaluadas. Los implantes ubicados a una profundidad de 1-2 m exhibieron el mayor peso promedio en la semana final del estudio (Fig. 6). La temperatura promedio del agua fue $24,66 \pm 0,70^{\circ}\text{C}$ con un mínimo de 24°C y un máximo de 26°C . La salinidad promedio obtenida fue de $38,55 \pm 0,52 \text{‰}$ con un mínimo de 38‰ y un máximo de 39‰ (Fig. 7). Los implantes exhibieron coloración rojiza oscura (Fig. 8). Según los resultados de la prueba de Kruskal Wallis, no existe diferencia estadística significativa entre el peso de los implantes y las profundidades evaluadas ($P > 0,9$). El valor de P obtenido en la prueba de correlación de Spearman muestra correlación significativa entre el peso de los implantes, temperatura y salinidad ($P < 0,001$).

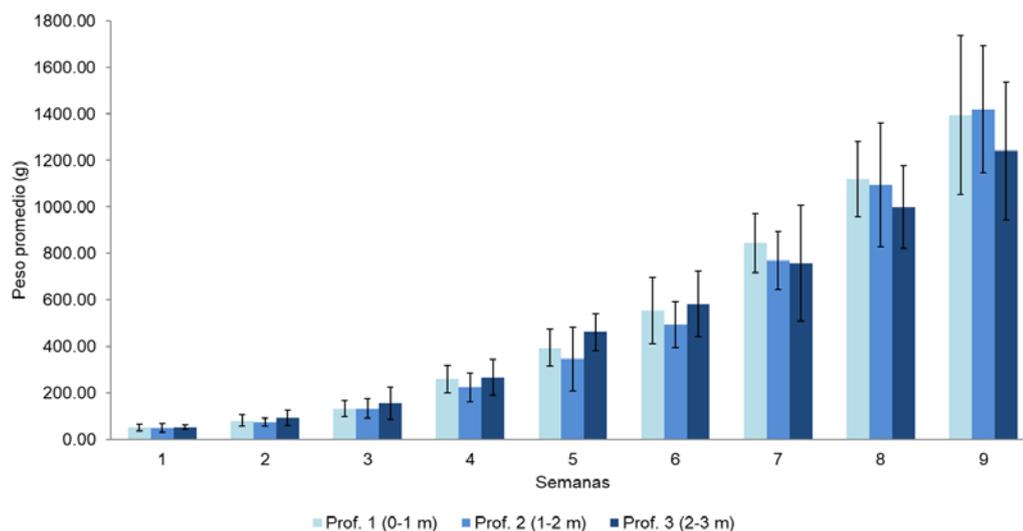


Figura 6. Peso promedio semanal de *Eucheuma isiforme* en las profundidades 0-1 m, 1-2 m y 2-3 m de la balsa flotante.

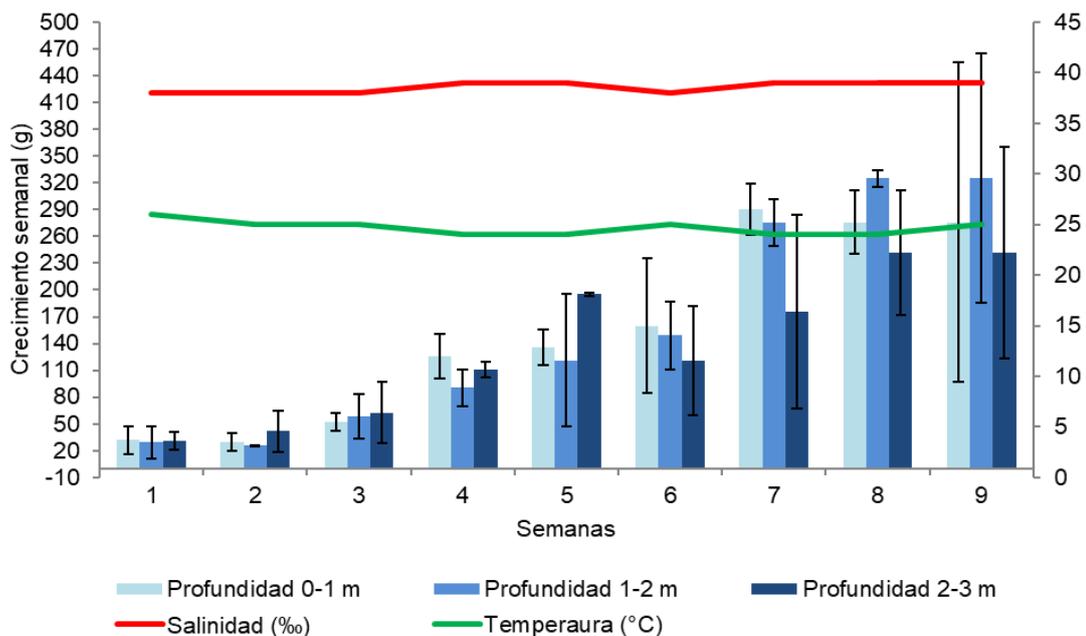


Figura 7. Crecimiento vegetativo semanal de implantes de *Eucheuma isiforme* en las profundidades 0-1 m, 1-2 m y 2-3 m de la balsa flotante y las variaciones de salinidad y temperatura durante el período de estudio.

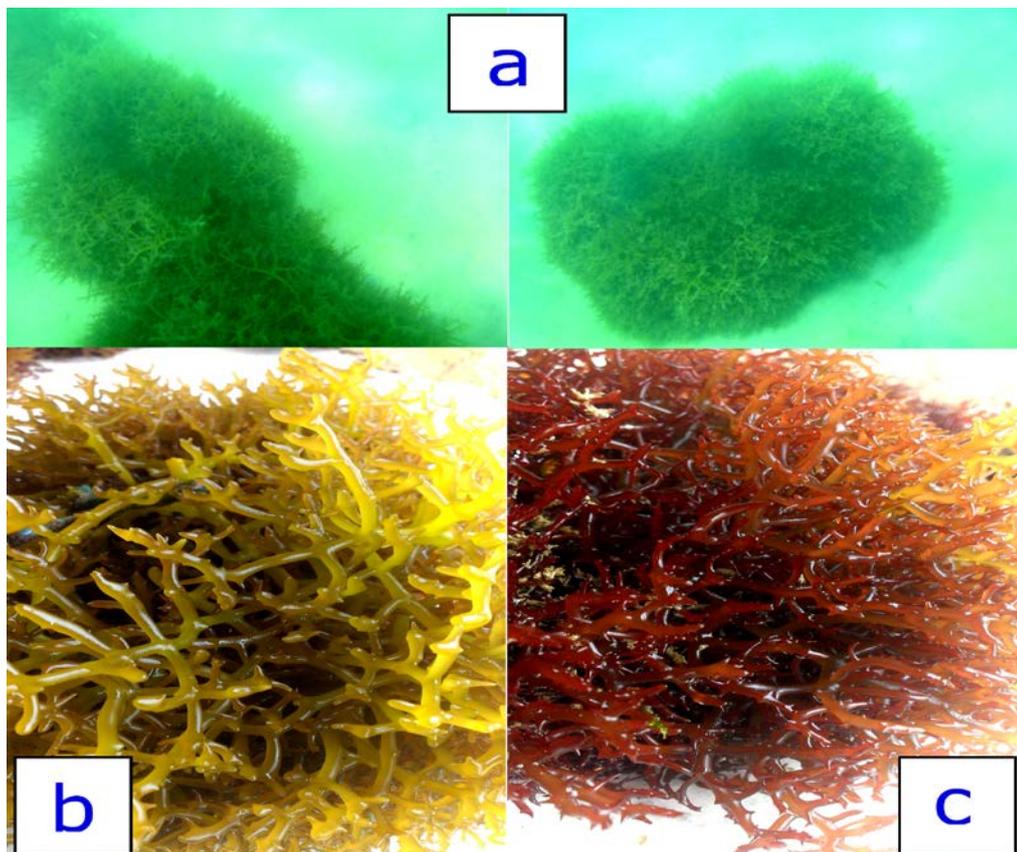


Figura 8. *Eucheuma isiforme*. a) Población silvestre ubicada en la bahía de Charagato. b) Implante cosechado del sistema *long line*. c) Implante cosechado de la balsa.

Tasa diaria de crecimiento (TDC)

La Tabla 1 muestra las tasas diarias de crecimiento (TDC) obtenidas en un ciclo de cultivo (63 días) para *E. isiforme* en los sistemas de cultivo evaluados, donde se muestra que los implantes ubicados a una profundidad de 1-2 m exhibieron una mejor TDC con respecto a las demás profundidades estudiadas.

Tabla 1. Tasa diaria de crecimiento (TDC) para la especie *Eucheuma isiforme*.

Sistema de cultivo	Profundidad (m)	TDC (%)	TDC Promedio (%)
LLH		5,20	
	0,8	5,60	5,54 ± 0,31
		5,82	
BFV	0-1	6,74	6,69±0,12
	1-2	6,76	
	2-3	6,55	

Rendimiento neto por hectárea mensual (RNHM)

En la Tabla 2 se muestra el Rendimiento Neto por Hectárea Mensual (RNHM) y Anual (RNHA) estimados en peso húmedo y seco para los sistemas *long line* y balsa flotante. El sistema *long line* presentó el mejor rendimiento de los sistemas evaluados.

Tabla 2. Rendimiento neto por hectárea mensual (RNHM) y anual (RNHA) de los sistemas de cultivo *long line* horizontal (LLH) y balsa flotante vertical (BFV) en peso húmedo y peso seco.

Sistema de Cultivo	Profundidad (m)	RNHM	RNHA
		(TM húmedas.ha ⁻¹ .mes ⁻¹)	(TM húmedas.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
LLH	0,8	9,01	108,18
	1	8,03	96,36
BFV	2	8,16	97,92
	3	7,14	85,68
		RNHM	RNHA
		(TM secas.ha ⁻¹ .mes ⁻¹)	(TM secas.ha ⁻¹ .año ⁻¹)
LLH	0,8	1,12	13,52
	1	1	12,05
BFV	2	1,02	12,24
	3	0,89	10,71

DISCUSIÓN

Los resultados de crecimiento obtenidos muestran que la bahía de Charagato es una zona propicia para el desarrollo del cultivo de *E. isiforme*. El crecimiento semanal en peso de *E. isiforme* en los sistemas de cultivo LLH y BFV presentaron cambios temporales con una clara tendencia a incrementar durante el periodo de estudio. Estas diferencias pueden deberse las condiciones abióticas de la zona que favorecen el crecimiento de esta especie. Los valores de crecimiento semanal registrados fluctuaron junto con los parámetros de temperatura y salinidad: El período de menor crecimiento coincidió con los valores mínimos de salinidad y máximos de temperatura. La temperatura registrada durante el período de cultivo en ambos sistemas se encuentra dentro del rango de tolerancia (20-31 °C) para *E. isiforme* (Dawes 1974).

Los valores de los parámetros ambientales determinados en el presente estudio son considerados indicadores de surgencia (Herrera y Febres-Ortega 1975, Pirela 2005, Acevedo 2007), estableciendo que el cultivo se realizó bajo la influencia de este evento que se caracteriza por poseer temperaturas bajas y elevadas concentración de nutrientes (Pirela 2005).

El peso promedio de los implantes de *E. isiforme* en el sistema LLH aumentó progresivamente durante las semanas de cultivo. El menor crecimiento se registró en la semana 3 coincidiendo con la mayor temperatura y la menor salinidad, comportamiento detectado por la asociación significativa de manera negativa y positiva del peso de los implantes con la temperatura y la salinidad respectivamente. Estos resultados vienen a corroborar que los cambios de temperatura y salinidad influyen sobre la tasa de crecimiento, probablemente afectando la fotosíntesis en *E. isiforme* (Mathieson y Dawes 1974, Dawes 1989, Robledo y Freile-Pelegrián 2011). No obstante, la variabilidad de estos factores en cuanto a las 3 profundidades estudiadas, no influyen en el crecimiento de la especie baja cultivo, dado que no existe correlatividad significativa con los factores ambientales estudiados.

El bioensayo se instaló en una zona bajo la influencia de la surgencia costera, caracterizada por la presencia de masas de agua con bajas temperaturas, mayor salinidad y altos niveles de nutrientes, condiciones que permiten el buen crecimiento de las algas (Gómez 1996). Doty (1979), Doty (1987), Doty *et al.* (1987) y Rincones (2016) consideran que la productividad de los cultivos de macroalgas depende de la fertilidad del sitio, la cual está definida por la relación entre cuatro factores físico-químicos: luz, temperatura, calidad y movimiento de agua. Las interacciones entre estos factores influyen sobre el crecimiento de la especie objetivo, particularmente en los cultivos ubicados en aguas poco profundas donde las condiciones ambientales pueden cambiar muy rápidamente (Santelices 1975). De esta forma, la hipótesis de fertilidad del sitio planteada permite explicar los cambios temporales en el crecimiento de *E. isiforme* en los sistemas de cultivo evaluados en este estudio.

La tasa diaria de crecimiento (TDC) de *E. isiforme* registrada en ambos sistemas es mayor con respecto a valores obtenidos por otros autores con la misma especie en el Caribe (Tabla 3). Los estudios realizados

con *E. isiforme* en la bahía de Charagato han mostrado un alto crecimiento vegetativo durante el periodo de surgencia costera y podría ser por tanto considerada una cepa ideal para maricultura.

Tabla 3. Tasa diaria de crecimiento para *Eucheuma isiforme* reportado por diversos autores en la cuenca del Caribe y Florida (EE. UU).

Autor	Año	Lugar	TDC (%)
Esta investigación	2017	Venezuela	5,54 ^(LLH)
			6,69 ^(BFV)
Dawes <i>et al.</i>	1974	Florida, E.E.U.U.	7 ⁽¹⁾ 1-2 ⁽²⁾
Dawes	1974	Florida, E.E.U.U.	2 ⁽³⁾ 6 ⁽⁴⁾
Pérez-Enríquez	1996a	Yucatán, México	2,21 ⁽⁵⁾ 1,21 ⁽⁶⁾
Rincones y Moreno	2011	Colombia	1,49 ⁽⁷⁾ 1,66 ⁽⁸⁾
Rincones	2011	San Vicente & Granadinas	4,61 ⁽⁹⁾ 5,47 ⁽¹⁰⁾

1. Tasa de crecimiento máxima obtenida en primavera y principios de verano.

2. Tasas de crecimiento durante el resto del año.

3. Tasa de crecimiento promedio durante el resto del año.

4. Tasas de crecimiento durante la primavera y los meses de verano.

5. Cultivo de 25 días en la localidad de Uaymitun.

6. Cultivo de 25 días en la localidad de Dzilam.

7. Periodo julio-septiembre (época de lluvias).

8. Periodo abril-junio (época de sequía).

9. Sistema *tie-tie*.

10. Sistema de mallas tubulares.

El sistema de balsa flotante vertical (BFV) utilizado en este bioensayo no se recomienda para el cultivo comercial debido al alto costo de inversión, deficiente aprovechamiento del espacio y bajo rendimiento. Evidentemente es necesario el re-diseño de este sistema y así obtener mejores resultados en rendimiento y productividad, particularmente en lo relacionado a su viabilidad económica. Adicionalmente, todas las modificaciones necesarias deben realizarse de acuerdo a las condiciones de cada localidad (corrientes, mareas, tipo de fondo, etc.) (Hurtado 2013).

Otros diseños de sistemas de cultivo han mostrado mejores rendimientos y utilización del espejo de agua para el cultivo de macroalgas marinas, especialmente los empleados por Rincones y Moreno (2011) quienes cultivaron *E. isiforme* en balsas flotantes con tubos de PVC, estimando un rendimiento de 2,4-2,6 kg.m⁻² a partir de una densidad de siembra de 0,3-0,4 kg.m⁻². Otro sistema de balsa flotante diseñado en Brasil y empleado comercialmente, fue instalado y modificado en Ecuador para evaluar el crecimiento de *Kappaphycus alvarezii* sembrado densidades de 0,93-1,33 kg.m⁻² (Rincones 2016) y obteniendo tasas diarias de crecimiento superiores a 5%.

CONCLUSIONES

La biomasa promedio semanal de *E. isiforme* en ambos sistemas aumentó progresivamente al transcurrir el ciclo de cultivo, mostrando una tendencia de crecimiento exponencial. La tasa diaria de crecimiento registrada es alta e indica que la bahía de Charagato presenta las condiciones óptimas durante los meses de surgencia costera para el desarrollo de cultivos comerciales de macroalgas marinas, con particular énfasis en *E. isiforme*. Se recomienda realizar estudios similares, en periodos de transición y estratificación del agua, en función de evaluar la factibilidad de cultivo con producción continua en la zona.

REFERENCIAS

Acevedo D. (2007). Estudio a pequeña escala de la estructura comunitaria del fitoplancton de la bahía de Charagato, isla de Cubagua, durante el periodo enero-julio 2006. Tesis de pregrado, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Boca del Río, Universidad de Oriente, Venezuela.

Areces A. (1995). Cultivo comercial de carragenófitas del género *Kappaphycus* Doty. En: Alveal K.,

- Ferrairo M., Oliveira E., Sar E. (eds). Manual de Métodos Ficológicos, Concepción, Universidad Concepción, Chile. pp: 529–550.
- Barbaroux O., Perez R., Dreno J. (1984). L'algue rouge *Euचेuma spinosum* possibilities d'exploitation et de culture aux Antilles. *Bull. Inst. Peches. Marit.*, 348:2-9.
- Cheney D., Dawes C. (1980). On the need for revision of the taxonomy of *Euचेuma* (Rhodophyta) in Florida and the Caribbean Sea. *J. Phycol.*, 16:622-625.
- Dawes C. (1974). On the mariculture of the Florida seaweed *Euचेuma isiforme*. Sea Grant Program, State University System of Florida, USA. pp: 10.
- Dawes C. (1989). Temperature acclimation in cultured *Euचेuma isiforme* from Florida and *E. alvarezii* from the Philippines. *J. Appl. Phycol.*, 1:59–65.
- Dawes C., La Claire J., Moon R. (1976). Culture studies on *Euचेuma nudum* J. Agardh, a carrageenan producing red alga from Florida. *Aquaculture*, 7:1-9.
- Dawes C., Mathieson A., Cheney D. (1974). Ecological studies of Floridian *Euचेuma* (Rhodophyta, Gigartinales). 1. Seasonal growth and reproduction. *Bull. Mar. Sci.*, 24:235-273.
- Doty M. (1979). Status of marine agronomy, with special reference to the tropics. *Proc. Int. Seaweed Symp.*, 9:35–58.
- Doty M. (1987). The production and use of *Euचेuma*. In: Doty M., Caddy J., Santelices B. (eds), Case Studies of Seven Commercial Seaweed Resources. FAO Fisheries Technical Paper 281, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. pp: 123-164.
- Doty M., Caddy J., Santelices B. (1987). Case studies of seven commercial seaweed resources. Food and Agriculture Organization of the United Nations [en línea]. Roma. 17 Agosto 2017: (<http://www.fao.org/docrep/x5819e/x5819e00.htm>).
- Freile-Pelegrín Y., Robledo D. (2008). Carrageenan of *Euचेuma isiforme* (Solieriaceae, Rhodophyta) from Nicaragua. *J. Appl. Phycol.*, 20:537-541.
- Freile-Pelegrín Y., Robledo D., Azamar J. (2006a). Carrageenan of *Euचेuma isiforme* (Solieriaceae, Rhodophyta) from Yucatan, Mexico. I. Effect of extraction conditions. *Bot. Mar.*, 49:65–71.
- Freile-Pelegrín Y., Robledo D., Azamar J. (2006b). Carrageenan of *Euचेuma isiforme* (Solieriaceae, Rhodophyta) from Yucatan, Mexico. II. Seasonal variations in carrageenan and biochemical characteristics. *Bot. Mar.*, 49:72–78.
- Gómez A. (1996). Causas de la fertilidad marina en el nororiente de Venezuela. *Interciencia*, 21(3):140-146.
- Hayashi L., Reis R., Dos Santos A., Castelar B., Robledo B., Batista de Vega G., Msuya F., Eswaran K., Yasir S., Majahar M., Hurtado A. (2017). The cultivation of *Kappaphycus* and *Euचेuma* in tropical and sub-Tropical waters. In: Hurtado A., Critchley A., Neish I. (eds). Tropical seaweed farming trends, problems and opportunities. Developments in Applied Phycology 9. Murdoch, Australia. pp: 55-90.
- Herrera L., Febres-Ortega G. (1975). Procesos de surgencia y de renovación de agua en la Fosa de Cariaco del Mar Caribe. *Bol. Inst. Oceanogr. Vzla.*, 14 (1):31-44.

- Hurtado A. (2013). Social and economic dimensions of carrageenan seaweed farming in the Philippines. In: Valderrama D., Cai J., Hishamunda N., Ridler N. (eds). Social and economic dimensions of carrageenan seaweed farming, FAO, Roma, Technical Paper No. 580. pp: 91-113.
- Mathieson A., Dawes C. (1974). Ecological studies of Floridian *Eucheuma* (Rhodophyta, Gigartinales): 11. Photosynthesis and respiration. *Bull. Mar. Sci.*, 34: 274-285.
- Muñoz J., Freile-Pelegrín Y., Robledo D. (2004). Mariculture of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) color strains in tropical waters of the Yucatán Peninsula, Mexico. *Aquaculture*, 239:161–177.
- Neish I., Suryanarayan S. (2017). Development of eucheumatoid seaweed value-chains through carrageenan and beyond. In: Hurtado A., Critchley A., Neish I., (eds). Tropical seaweed farming trends, problems and opportunities. Developments in Applied Phycology 9, Murdoch, Australia. pp: 173-192.
- Pérez-Enríquez R. (1996a). Growth of *Eucheuma isiforme* (C.Agardh) J. Agardh on experimental rafts off the coast of Yucatan State, Mexico. *J. Appl. Phycol.*, 8:27–28.
- Pérez-Enríquez R. (1996b). Summer biomass density and weight assessment of the red seaweed *Eucheuma isiforme* (Rhodophyta, Gigartinales) at Dzilam Yucatan State, Mexico. *Bot. Mar.*, 39:251-253.
- Pirela E. (2005). Hidrografía y cambios estructurales del fitoplancton de la bahía Charagato, isla de Cubagua durante el periodo abril 2003-marzo 2004. Tesis de pregrado, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Boca del Río, Universidad de Oriente, Venezuela.
- Racca E., Hurtado R., Dawes C., Valladares C., Rubio J. (1993). Desarrollo de cultivo de Gracilarias en la península de Araya (Venezuela). En: Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en América Latina y el Caribe. FAO, Proyecto Aquila II, Programa Cooperativo Gubernamental [en línea]. Italia. 15 Octubre 2016: (<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab483s/AB483S05.htm#ch5>).
- Rincones R. (2000). Marine Agronomy: A sustainable alternative for coastal communities in developing countries. *Global Aquaculture Advocate*, 3(2): 70-72.
- Rincones R. (2011). Mariculture and environmental research consultancy final report to the Ashton multipurpose cooperative (AMCO), Ashton Union Island, St. Vincent and the Grenadines (West Indies) as part of the GEF-UNDP project entitled “Developing the economic viability, human capacity, and environmental sustainability of a seamoss cooperative in Union Island. Saint Vincent & the Grenadines. pp: 113.
- Rincones R. (2016). Manual para el cultivo experimental de la macroalga *Kappaphycus alvarezii* como alternativa productiva y sostenible para los pescadores artesanales del Ecuador. Informe del proyecto “Maricultura y Piscicultura para el Fomento Acuícola en el Ecuador”, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. Cooperativa de Producción Pesquera Artesanal Santa Rosa, Salinas. pp: 116. [en línea]. Ecuador. 14 marzo 2017:(<http://www.coopsantarosa.com/index.php/component/content/article/2-ultimas-novedades/29-proyecto-macro-algas>).
- Rincones R., Moreno D. (2011). Aspectos técnicos y económicos para el establecimiento comercial del maricultivo de algas en Colombia: Experiencias en la Península de La Guajira. Ambiente y Desarrollo, Bogotá. Vol 15: 28, p.123-144 [en línea] Colombia. 24 diciembre 2018:(https://www.researchgate.net/publication/277262194_Aspectos_tecnicos_y_economicos_para_el_establecimiento_comercial_del_maricultivo_de_algas_en_Colombia_experiencias_en_la_Peninsula_d_e_La_Guajira).
- Rincones R., Rubio J. (1999). Introduction and commercial cultivation of the red alga *Eucheuma* in Venezuela for the production of phycocolloids. *World Aquaculture*, 30(2):58-63.

- Rincones R., Rubio J., Racca E. (1992). *Gracilaria* pilot farming in Venezuela. In: Mshigeni K., Bolton J., Critchley A., Kiangi G. (eds). Sustainable seaweed resource development in sub-Saharan Africa. Windhoek, Namibia: University of Namibia. pp: 309-318.
- Robledo D. (2006). Seaweed resources of Mexico. In: Critchley A., Ohno M., Largo D.(eds). World seaweed resources. DVD-ROM multimedia interactive software-UNESCO Publishing/ETI Bioinformatics, Universidad de Amsterdam. pp. 331-342.
- Robledo D., Freile-Peigrín Y. (2011). Prospects for the cultivation of economically important carrageenophytes in Southeast Mexico. *J. Appl. Phycol.*, 23(3):415-419.
- Rodríguez de Ríos N. (1965). Lista de algas macroscópicas de la bahía de Mochima (Venezuela). *Lagena*, 8:41-50.
- Santelices B. (1975). Ecological studies on Hawaiian Gelidiales (Rhodophyta). Tesis Ph.D., University of Hawaii, Hawaii.
- Santos G. (1989). Carrageenans of species *Eucheuma* J. Agardh *Kappaphycus* Doty (Solieriaceae, Rhodophyta). *Aquat. Bot.*, 36:55-67.
- Smith A. (1992). Seaweed cultivation in the West Indies. In: Mshigeni K., Bolton J., Critchley A. Kiangi G. (eds). Sustainable Seaweed Resource Development in Sub-Saharan Africa, University of Namibia, Windhoek, Namibia. pp. 337-351.
- Smith A. (1997). Seamoss cultivation in the West Indies. CANARI Guidelines Series 1.
- Smith A., Rincones R. (2006). Seaweed resources of the Caribbean. In: Critchley A., Ohno M., Largo D.(eds). World seaweed resources. DVD-ROM multimedia interactive software-UNESCO Publishing/ETI Bioinformatics, University of the Netherlands, Amsterdam, Países Bajos. pp: 1-14.

Recibido: 20-03-2020
Aprobado: 04-06-2020
Versión final: 11-07-2020

