

Aspectos técnicos y económicos para el establecimiento comercial del maricultivo de algas en Colombia: Experiencias en la Península de La Guajira*

Technical and economical aspects for the commercial establishment of seaweed mariculture in Colombia: Experiences in the Guajira Peninsula

Aspects techniques et économiques pour l'établissement commercial de la mariculture d'algues en Colombie: Expériences dans la péninsule de La Guajira

Raúl E. Rincones León**

Diego A. Moreno Tirado***

Recibido: 2011-02-15

Aceptado: 2011-02-16

Evaluado: 2011-03-10

Publicado: 2011-06-30

* Esta investigación fue financiada por el Convenio 0709-2009 entre la Fundación Terrazul y el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA y su programa nacional de acuicultura.

Este artículo hace parte del proyecto de investigación "Establecimiento comercial del maricultivo de algas en Colombia: Experiencias en la Península de La Guajira", financiado por el Convenio 0709-2009 entre la Fundación Terrazul y el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA y su programa nacional de acuicultura.

** B.Sc. Ciencias Marinas. Gerente de Investigación Fundación Terrazul. Calle 5 N° 5-07, Riohacha, Guajira, Colombia. Autor correspondiente: Raúl E. Rincones.

E-mail: raulrincones@terrazul.org ; agromarina@gmail.com

*** B.Sc. Ciencias Marinas. M.Sc. en Administración Ambiental. Director General.

E-mail: diegomoreno@terrazul.org

Resumen

Este trabajo muestra los aspectos técnicos y económicos del maricultivo de algas productoras de ficocoloides o gomas marinas. Se emplearon dos sistemas de cultivo en cuatro diferentes localidades habitadas por comunidades de pescadores Wayúu de los corregimientos del Cabo de La Vela y Carrizal, península de La Guajira, Colombia. Se determinó la productividad y tasa de crecimiento de tres especies de macroalgas de interés comercial, así como los costos de producción, inversión y rentabilidad de granjas marinas de 0.5 ha, tomando en cuenta el diseño y construcción de unidades hechas con materiales e insumos de bajo precio y fácil acceso. La implementación de estos sistemas y métodos de cultivo podría servir de base para la transferencia tecnológica a las comunidades locales. Los ingresos que se generen por medio de la maricultura de algas podrían beneficiar a una buena parte de los pobladores debido a que serían recursos adicionales y complementarios a sus actividades tradicionales como la pesca artesanal y cría de caprinos, en vista de que la gran mayoría vive en condiciones de extrema pobreza y presenta uno de los índices de necesidades básicas insatisfechas más altos de país.

Palabras clave autores: maricultura, algas marinas, *Eucheuma isiforme*, Wayúu, península de La Guajira.

Palabras clave descriptores: acuicultura marina, algas marinas, sistemas de cultivo, península de La Guajira, Colombia.

Abstract

This work shows the technical and economical aspects of seaweed farming for the production of phycocolloids or marine gums. Two different cultivation systems were used in four different sites inhabited by Wayúu fisherman communities in the townships of Cabo de La Vela and Carrizal, Guajira Peninsula, Colombia. The productivity and the growth rate of three commercial important macroalgae species, as well as the production costs, investment and returns of 0,5 ha marine farms, taking into consideration the design and construction of cultivation units made with cheap and available materials. The implementation of these farming systems could lead for the technological transfer of the locals. The income obtained through seaweed farming could benefit a large part of the coastal community as an additional and complementary cash crop to their traditional activities, including artisan fishing and goat rising, where the majority thrives in conditions of extreme poverty with the highest unmet basic needs index of the country.

Key words authors: Seaweed farming, mariculture, *Eucheuma isiforme*, Wayúu, Guajira Peninsula.

Key words plus: Mariculture, marine algae, cropping systems, Península de La Guajira, Colombia.

Résumé

Cette enquête montre les aspects techniques et économiques de la mariculture d'algues productrices de phycocolloïdes ou « gommages marines ». Deux systèmes de culture ont été utilisés dans quatre localités différentes, habitées pour des communautés des pêcheurs Wayuu des corregimientos de Cabo de la Vela et de Carrizal, dans péninsule de La Guajira, en Colombie. La productivité et le taux de croissance de trois espèces de macroalgues d'intérêt commercial ainsi que les coûts de production, d'investissement et de rentabilité des fermes marines de 0.5 ha a été déterminé, en tenant compte du dessin et de la construction des unités faits avec des matériaux et des matières premières de bas prix et de facile accès. L'implémentation de ces systèmes et méthodes de culture pourrait être la base pour le transfert technologique aux communautés locales. Les revenus qui soient générés grâce à la mariculture d'algues pourraient faire du bien à la plupart des habitants car ils seraient des recours additionnelles et complémentaires de leurs activités traditionnelles comme la pêche artisanale et l'élevage de caprins, étant donné que la plupart des gens vivent dans des conditions de pauvreté extrême et qu'ils ont un des index de besoins de base inassouvis plus hauts du pays.

Mots-clés auteurs: mariculture, algues marines, Eucheuma isiforme, Wayuu, péninsule de La Guajira

Mots-clés descripteurs: aquaculture marine, algues marines, systèmes de culture, péninsule de La Guajira, Colombie.

Introducción

En la península de La Guajira ubicada en la costa NE de Colombia, coexisten dos realidades: una plataforma costera conformada por un ecosistema con una alta productividad y riqueza de recursos marinos y, al mismo tiempo, una población muy deprimida que vive en condiciones de extrema pobreza. Esta paradójica situación nos impulsa a la formulación y desarrollo de nuevos modelos y sistemas de aprovechamiento sustentable, como la maricultura. Dentro de los principales recursos de interés comercial se encuentran las algas marinas. El potencial que conjuga el aprovechamiento de las algas marinas es conocido a nivel mundial, debido a la gran variedad de usos y aplicaciones industriales que incluyen desde alimento directo en humanos hasta el desarrollo de cosméticos y medicamentos. Son fuente de materia prima para la producción de ficocoloides o gomas marinas empleadas como estabilizantes y espesantes en la industria de alimentos (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2006). Los ecosistemas marinos de la península de La Guajira conforman una de las regiones más fértiles del Caribe colombiano debido a la presencia estacional de fenómenos de surgencia, cuando aguas ricas en nutrientes provenientes del fondo afloran a la superficie. Este fenómeno varía a lo largo del año con la fuerza del viento y es más fuerte de diciembre a marzo-julio y menor en época de lluvias entre los meses de octubre y noviembre (Álvarez-León, Aguilera-Quinónez, Andrade-Amaya & Patrick, 1995; Andrade & Barton, 2004). Durante este evento se manifiesta un notorio descenso de la temperatura y un incremento de la salinidad y del contenido de nutrientes en las masas de agua que afloran en la superficie, aumentando la productividad primaria y creando condiciones óptimas para el crecimiento de organismos marinos, incluyendo las macroalgas con especies de alto valor económico productoras de ficocoloides o gomas marinas (agar, carragenina y alginatos) (Bula-Meyer, 1985, 1998).

Antecedentes

El desarrollo del comercio mundial de algas tropicales basado en el maricultivo del alga roja *Kappaphycus alvarezii*, principal especie productora de carragenina en el mundo, es un ejemplo sobresaliente, tomando en cuenta que evolucionó a partir de simples métodos agronómicos mejorados principalmente por los granjeros en el campo ubicados en áreas remotas y deprimidas. Este fenómeno ha permitido que se tenga una producción actual de 250 mil toneladas de algas secas anuales, en por lo menos diez (10) países en vías de desa-

rollo. Los ingresos en puerta de finca están en el orden de US\$ 150 millones, los cuales se quedan en comunidades costeras en países en desarrollo, donde la cadena de valor es una de las principales fuentes de ingreso para más de 50 mil familias (Neish, 2009).

Existen experiencias sobre el cultivo y aprovechamiento de algas marinas en la cuenca del Caribe y el golfo de México, desde la década de los 80 (Robledo, 2005; Smith & Rincones, 2006). Inicialmente, se evaluaron especies de Gracilariales incluyendo *G. cornea* (= *Hydropuntia cornea*) (Rincones, 1990) y *Gracilariopsis lemaneiformis* (= *G. tenuifrons*), para su aprovechamiento industrial en Venezuela como fuente productora de agar alimenticio. En estas experiencias se insertaron implantes vegetativos en cuerdas de polipropileno, las cuales a su vez permanecían en tensión sujetas a balsas de madera y bambú (Rincones, Rubio & Racca, 1992). Problemas en relación con la sedimentación, epifitismo y herbivorismo llevaron al rediseño y posterior desarrollo del método de cultivo, empleando cuerdas flotantes en aguas más profundas con una productividad de 50 TM peso seco ha⁻¹ año⁻¹ (Racca, Hurtado, Dawes, Balladares & Rubio, 1993). Una evaluación del uso potencial de los recursos algales en Cuba, condujo a la implementación de un programa para investigar la maricultura de las especies agarófitas *Gracilaria domingensis* y *Bryothamnion triquetrum*. *G. domingensis* fue descartada debido a constantes ataques por herbívoros y la baja calidad de los extractos de agar (Areces & Soberats, 1992). A través de un proyecto de la FAO, implantes de *Kappaphycus alvarezii*, *K. striatum* y *Eucheuma denticulatum* fueron introducidas desde Filipinas en el archipiélago cubano con fines comerciales, por el Instituto de Oceanología en el año 1991 (Areces & Céspedes, 1992), obteniendo altas tasas de crecimiento y adaptación a los sistemas de cultivo empleados. De igual forma, material vegetativo de *K. alvarezii* y *E. denticulatum* provenientes del mar de Bohol, Filipinas, fue introducido en la costa oriental de Venezuela con fines experimentales en el año 1996 (Rincones & Rubio 1999, Smith & Rincones 2006). Ambas especies se adaptaron a las condiciones locales y fueron cultivadas en los tipos de sistema reportados anteriormente (Racca et al., 1993). El crecimiento diario varió estacionalmente entre 4,5 % y 7 % con productividades promedio de 30 y 45 TM (peso seco) ha⁻¹ año⁻¹. Implantes de *K. alvarezii* fueron introducidos desde Venezuela y Japón a Brasil, donde actualmente se desarrollan varios proyectos comerciales de granjas marinas promovidos por la Universidad de Sao Paulo y la empresa privada en los estados de Rio de Janeiro y Sao Paulo (Paula, Pereira & Ostini, 1998; Reis, Bastos & Góes, 2007). Esta especie también ha sido introducida en Panamá donde se cultiva comercialmente para su exportación a Europa (Pulverman, 2006). En la península de Yucatán, México, se realizan cultivos pilotos

de *K. alvarezii* por el CINVESTAV (Muñoz, Freile-Peigrín & Robledo, 2004; Robledo & Freile, 2010) y se espera su escalamiento comercial para el año 2011.

En Colombia, Bula-Meyer (1990) realizó los primeros ensayos de cultivo experimental de algas en mar abierto al sur de El Rodadero (Magdalena), utilizando *Grateloupia filicina* (CRIPTONEMIALES, Rhodophyta), como posible fuente de lambda carragenina, sin mayores avances. Debido a esto, implantes vegetativos de *Kappaphycus alvarezii* fueron introducidos desde Cuba a finales de la década de los 90 para evaluar su potencial como fuente de carragenina. Se realizaron ensayos de cultivo de *K. alvarezii* en jaulas flotantes en el Centro de Investigación, Educación y Recreación-CEINER (Islas del Rosario, Cartagena) y en el Acuario Mundo Marino de la Universidad Jorge Tadeo Lozano en Santa Marta (Magdalena), como parte de un seminario de grado (García & Pardo, 2002). El Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), con apoyo de Corpoguajira, realizó ensayos experimentales en Bahía Portete, Alta Guajira, entre julio de 2005 y julio de 2006 (Delgadillo & Newmark-Umbreit, 2008) con cepas locales de *Gracilaria cervicornis*, *Hydropuntia cornea*, *Hypnea musciformis* y *Grateloupia sp.*, usando sistemas flotantes integrados con balsas de moluscos bivalvos. Paralelamente, el Instituto Alexander von Humboldt (IAvH), con recursos de la FAO y Corpoguajira (2004-2005), desarrolló un programa piloto para el cultivo de algas marinas en las comunidades Wayúu del Cabo de La Vela (La Guajira) (Rincones, 2006; Rincones y Gallo, 2004).

Este trabajo muestra las experiencias de maricultivo obtenidas con especies de algas nativas productoras de ficocoloides, recolectadas en península de La Guajira. El diseño, desarrollo e implementación de sistemas y métodos de cultivo servirá como base inicial de transferencia tecnológica a la comunidad meta que son los pescadores Wayúu de los corregimientos de Carrizal y Cabo de La Vela (Municipio Uribia, Guajira), contribuyendo al fortalecimiento de las instituciones académicas y de aprendizaje. Estas investigaciones van acompañadas de estudios de valorización química, económica y de mercadeo, que permitirán obtener un paquete tecnológico de fácil implementación y con un alto índice de reproducibilidad en aquellas regiones y comunidades costeras del país que reúnan las condiciones ambientales y socioeconómicas adecuadas (Rincones & Moreno, 2010).

Área de estudio y población objetivo

La zona de estudio seleccionada se encuentra ubicada en la costa noroeste de la península de La Guajira, Colombia, entre las coordenadas geográficas N 12°08'15"/W 72°08'38" y N 11°58'11"/W 72°12'03'. Es un territorio con un

clima semidesértico y una vegetación xerofítica que registra una precipitación media anual de 250 mm, considerada la más baja del país. Es habitado, en su mayoría, por miembros de la etnia Wayúu de tradición pesquera y con vocación para el desarrollo de programas de maricultura, que paradójicamente viven en condiciones de extrema pobreza y carentes de todos los servicios públicos fundamentales. Se seleccionaron lugares para la realización de los ensayos pilotos de cultivos en ensenadas someras y protegidas del oleaje, con fondos consolidados de arena y cercana a pequeñas aldeas.

Metodología

Especies de cultivo

Los criterios para la selección de especies en los ensayos de cultivo se basaron en los estudios de bioprospección, tomando en cuenta su distribución local en los ecosistemas marinos de La Guajira, la calidad de los ficocoloides sintetizados y su adaptabilidad a las condiciones y sistemas de cultivo (Rincones & Moreno, 2010). Durante esta aproximación inicial se identificaron tres especies de algas locales productoras de ficocoloides, las cuales se presentan en el Cuadro 1. Se tomaron en cuenta las experiencias previas de cultivo realizadas en otras localidades de la región donde se han explotado comercialmente, particularmente el caso de *Gracilariopsis tenuifrons* (= *G. lemaneiformis*) que fue cultivada en Venezuela, como fuente de materia prima para la obtención de agar de grado alimenticio (Racca et al., 1993; Rincones et al., 1992). *Eucheuma isiforme* se ha explotado comercialmente en Belice y las Antillas Menores, donde se procesa localmente como bebida y postres (Smith & Renard, 2002; Smith & Rincones, 2006). Existen estudios de valorización química y cultivo con *Hydropuntia cornea* (= *G. cornea*) en Venezuela (Rincones, 1990) y México (Robledo, 2005; Robledo & Freile, 2010)

Cuadro 1

Especies de algas productoras de ficocoloides (agar y carragenina) seleccionadas para los ensayos de cultivo

Nombre científico	Características
<i>Hydropuntia cornea</i> (J. Agardh) W. J. Wynne (Gracilariales, Rhodophyta)	Agarófita, colectada en la zona de estudio. Evaluaciones de campo y laboratorio en Venezuela y México

Nombre científico	Características
<i>Gracilariopsis tenuifrons</i> Bird y Oliveira (Gracilariales, Rhodophyta)	Agarófita, recolectada en los sectores Villa Fátima (Ríoacha) y Punta de los Remedios (Dibulla) Guajira, trasladada a la zona de estudio para ensayos de cultivo. Explotada comercialmente en sistemas de cultivo en Venezuela
<i>Eucheuma isiforme</i> (C. Agardh) J. Agardh (Areschougiaceae, Rhodophyta)	Carragenófita tipo iota colectada en la zona de estudio (Carrizal-Cabo de La Vela) Explotada comercialmente en las Antillas Menores como alimento y bebidas

Fuente: esta investigación.

Sistemas de cultivo

Se diseñaron y evaluaron dos (2) sistemas de cultivo a partir del crecimiento de implantes vegetativos, atados en cuerdas de polipropileno por medio de rafias plásticas y/o insertados dentro de mallas de polietileno (tipo frutera). Los sistemas de cultivo empleados fueron: a) monolíneas flotantes de polipropileno y b) balsas flotantes de PVC.

Monolíneas flotantes

Es el sistema más sencillo y versátil de cultivo. Se emplean cuerdas de polipropileno de 3 y 5 mm de diámetro y 5 m de largo, sujetas al fondo por medio de sacos rellenos de arena y suspendidas por medio de boyas plásticas hechas con botellas PET (gaseosas, jugos, agua mineral) vacías y recicladas (Imagen 1). Cada monolínea consta de un total de 10 cuerdas de 5.5 m c/u, atadas entre sí en los extremos y suspendida por medio de los envases plásticos. Cada cuerda posee un total de 18-20 rafias plásticas de 30 cm de largo, atadas cada 20 cm, aproximadamente. En cada rafia se atan implantes de algas con un peso promedio de 80-100 g c/u, para un peso inicial de 1.5-2.0 kg por cuerda. Las monolíneas están separadas de 3-4 m entre sí, para evitar que se enreden. Una parcela de cultivo de monolíneas tiene un área promedio de 500 m².

Balsas flotantes de PVC

Este sistema permite aumentar la densidad de cultivo y trabajar sobre diferentes sustratos y profundidades. Se emplean tubos de PVC sanitario de 10.16 cm de diámetro y 6 m de largo, rellenos de icopor y sellados en ambos extre-

mos. Se colocan cuerdas de 10 mm de diámetro en los bordes como soporte. Cada balsa está hecha de 6 tubos separados 10 m, equivalente a cinco (5) celdas de 60 m^2 ($6 \times 10 \text{ m}$) y un área total de cultivo de 300 m^2 . Se atan cuerdas con los implantes separadas cada 0.5 m para un total 12 líneas de 10 m (5×2) por celda y 60 por balsa para una densidad inicial promedio de $0,3\text{-}0,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, la cual, al cabo de un período de cultivo, puede alcanzar hasta $2,4\text{-}2,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, dependiendo de la especie, la localidad y la época del año (Imagen 2).



Imagen 1. Sistema de monolíneas de polipropileno flotantes empleadas en los ensayos de cultivo algas marinas en Cabo de La Vela y Carrizal, Guajira (Colombia).
Fuente: Raúl Rincones, 2010.



Imagen 2. Sistema Balsas Flotantes de PVC de 300 m^2 ($6 \times 50 \text{ m}$).
Fuente: Raúl Rincones (2010).

Se construyeron cuatro (4) baterías de secadores solares con malla plástica y madera con una área de 30 m² y 1 m de altura cada uno, donde se realizaron las labores de secado de las algas a la intemperie durante 2 a 3 días hasta deshidratarlas y lograr un peso constante y una humedad final aproximada de 30 a 35 %, condición necesaria para su comercialización como materia prima empleada en el procesamiento de agar y carragenina (Imagen 3, A y B).



Imagen 3. A) Secaderos solares de algas marinas empleados en el Cabo de La Vela. B) Aspecto del alga seca lista para su comercialización.

Fuente: Raúl Rincones (2010).

Para calcular la productividad de los sistemas empleados, expresada como la tasa de crecimiento diario (TCD) en términos de porcentaje de la biomasa, se usó la fórmula:

$$\text{TCD \%} = [(Pf/Pi)^{1/t} - 1] \times 100$$

donde,

Pf = Peso final

Pi = Peso inicial

t = tiempo de cultivo en días

Se registraron las variaciones de biomasa en las cuerdas de polipropileno debidamente rotuladas, combinando al azar ambos sistemas de cultivo (monolíneas y balsas). Se seleccionaron muestras por quintuplicado ($n = 5$) para cada especie en cuatro (4) estaciones durante un período total de seis (6) meses, dividido en dos (2) ciclos de crecimiento de 90 días cada uno, los cuales representaron dos (2) épocas del año: sequía (abril-junio) y lluvias (julio-septiembre) del año 2010. Para determinar el peso final de las todas las muestras, se estandarizó el proceso de secado usando los secadores solares durante un período de 48 horas, para luego obtener un peso constante con la ayuda de un estufa eléctrica en el laboratorio a 45 °C. El material se rotuló y guardó en bolsas plásticas para posteriores análisis.

Análisis de costos y rentabilidad de los sistemas de cultivo

Se calcularon los costos de producción y rentabilidad para ambos sistemas de cultivo, tomando como referencia la tasa de crecimiento diario TCD promedio de la especie que mejor creció durante todo el período de cultivo y en las diferentes localidades. Con base a esa variable se hicieron las estimaciones de productividad expresadas en $\text{tm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Dentro del estudio se determinaron la estructura de costos (variables y fijos), inversión, ingresos y tasa interna de retorno promedio. Esta información permitirá conocer la factibilidad comercial del cultivo de algas marinas en granjas familiares o comunitarias de 0.5 ha, operadas de manera independiente por los pescadores locales y sus familiares.

Selección y evaluación de áreas adecuadas para la instalación de granjas marinas

Se realizó una evaluación de campo comprendida entre las comunidades de Aipir y Souripa, ubicadas en los corregimientos de Cabo de La Vela y Carrizal (Guajira, Colombia). Con la ayuda de imágenes satelitales del programa Google Earth (<http://earth.google.es/download-earth.html>), se trazó una línea de costa de aproximadamente 20 km de longitud que comprende un área aproximadamente de 45 ha. Dentro de los factores que se tomaron en cuenta para la

selección de los lugares de cultivo, se destacan: profundidad, tipo de sustrato, dirección y velocidad de las corrientes superficiales, así como la presencia de comunidades interesadas en participar como granjeros, tal como lo reveló un diagnóstico rural participativo realizado por Rincones y Moreno (2010). Esta evaluación contó además con la recolección y evaluación de información secundaria existente, particularmente los trabajos de batimetría y composición de los fondos marinos realizados por Borrero, Díaz y Seczon (1996) en la costa NW de la península de La Guajira.

Resultados

Rendimiento y productividad de los cultivos

En el Cuadro 2 se presentan las tasas de crecimiento diario (TCD) registradas para *H. cornea*, *G. tenuifrons* y *E. isiforme* en los sistemas de cultivo (balsas y monolíneas). Este estudio se realizó durante seis (6) meses en las estaciones de sequía y lluvia, en cuatro (4) localidades ubicadas en los corregimientos de Cabo de La Vela y Carrizal (Municipio Uribia, Guajira). La especie que mostró la mayor tasa de crecimiento y productividad fue *E. isiforme* con 1.58 % (± 0.17), seguida por *G. tenuifrons* con 0.59 % (± 0.39) y *H. cornea* 0.51 % (± 0.36).

Cuadro 2

Tasa de crecimiento diario TCD (%) de H. cornea, G. tenuifrons y E. isiforme cultivadas en cuatro localidades del Cabo de la Vela y Carrizal (Municipio Uribia, Guajira) y durante dos épocas del año (sequía y lluvias)

Año 2010		Localidades			
abril-junio (sequía)	Soulipa	Carrizal	Alema	Aipir	Promedio
Hidropuntia cornea	N.D.	0,85	0,45	0,76	0,69
Gracilariopsis tenuifrons	0,43	N.D.	0,36	N.D.	0,39
Eucheuma isiforme	N.D.	1,80	1,41	1,78	1,66
julio-septiembre (lluvias)					
Hidropuntia cornea	N.D.	0,45	0,23	0,31	0,33
Gracilariopsis tenuifrons	0,90	N.D.	0,66	N.D.	0,78
Eucheuma isiforme	N.D.	1,56	1,46	1,45	1,49
TCD durante el estudio		TCD Promedio		Variación estándar	
Hidropuntia cornea		0,51		0,36	

Año 2010	Localidades	
Gracilariopsis tenuifrons	0,59	0,39
Eucheuma isiforme	1,58	0,17

$n = 5$

N.D.= No determinada

Fuente: esta investigación.

Costos de Producción y Rentabilidad

Se determinaron los costos de producción y la rentabilidad de ambos sistemas de cultivo (monolíneas y balsas flotantes), teniendo como referencia la productividad del alga *E. isiforme*, calculada en 13.303 TM.ha⁻¹.año⁻¹, a partir del valor promedio de su TCD durante el período de estudio (Cuadro 2). *E. isiforme* es una especie productora de iota carragenina y se obtiene a través del maricultivo en la isla de St. Lucia para la elaboración una bebida conocida localmente como 'seamoss', muy popular y de gran demanda en las Antillas Menores (Smith & Renard, 2002; Smith & Rincones 2006).

El análisis de mercado y las evaluaciones industriales del material cultivado permitieron identificar una demanda de plantas procesadoras interesadas en la compra de *E. isiforme* (Rincones & Moreno, 2010). Con base a esta información y a los costos poscosecha, comercialización interna y exportación, se calculó el precio en playa en COP 2.000. kg⁻¹ del alga seca con un máximo de humedad del 35 %. La tasa de cambio a la fecha de la elaboración de este documento fue de 1 USD = 1.900 COP. En los Cuadros 4 y 5 se presentan las estructuras de costos, empleando ambos sistemas de cultivo: balsas de PVC y monolíneas flotantes.

Cuadro 3

Estructura de costos en los sistemas de cultivo para granjas de 0,5 ha

Costos balsas flotantes de PVC	Cantidad	Costo Unidad	Subtotal
Tubos PVC 6 m largo	6	69.000	414.000
Fletes	Global	9.600	57.600
MOD y materiales de construcción	Jornal	3.600	21.600
Cuerda 10 mm	162	867	140.400
Lastres (sacos de arena)	2	15.000	30.000
Cuerda 3 mm	605	60	36.300
Costo balsa PVC			699.900
Total balsas granja 0,5 ha	17	699.900	11.665.000

Costos balsas flotantes de PVC	Cantidad	Costo Unidad	Subtotal
Costos monolíneas			
Cuerdas de polipropileno 5 mm	11.000	80	880.000
Fletes	Global	450.000	450.000
Mano de Obra	Jornal	20.000	120.000
Sacos de arena (incl. MOD)	400	1.000	400.000
Boyas flotantes PET recicladas	2.000	100	200.000
Rafia de atado de las boyas	1.000	10	10.000
Total monolíneas granja 0,5 ha			2.060.000

Fuente: esta investigación.

En la estructura de costos se puede observar que los sistemas de cultivo son muy simples y de fácil implementación (Cuadro 4). Se emplean materiales locales económicos y accesibles. Las balsas flotantes permiten trabajar en diferentes sustratos y profundidades con una mayor densidad de cultivo en comparación con el sistema de monolíneas, y representan una gran ventaja cuando existen limitaciones de espacio por conflicto de uso con otras actividades (industriales, turísticas, recreacionales o urbanas) o de zonas protegidas del oleaje o muy contaminadas. Por otra parte, el sistema de monolíneas es mucho más económico ya que la inversión total para una granja de balsas flotantes de PVC de 0,5 ha es de COP 16.376.120, mientras que para el de monolíneas es de COP 6.771.120, lo que representa un 58,7 % menos. Los costos totales de inversión se han calculado con base en la instalación y operación de unidades de producción de 0,5 ha, las cuales pueden ser operadas por un grupo familiar de 3 a 4 personas de manera independiente (Cuadro 4).

Cuadro 4

Costos totales de inversión para granjas 0,5 ha

Rubro	Costo Total
Costo granjas sistema de balsas	11.665.000
Costo granjas sistema de monolíneas	2.060.000
Batería de secaderos solares	1.258.400
Área de trabajo y bodega	3.052.720
Embarcación de madera tipo cayuco	400.000
Total inversión granjas de balsas	16.376.120
Total inversión granjas monolíneas	6.771.120

Fuente: esta investigación.

Los costos de producción están conformados por los costos operativos, que en su mayoría son insumos y consumibles, así como la depreciación de los prin-

cipales activos, que en este caso son iguales para ambos sistemas de cultivo y se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5
Costos de producción para la operación de algas marinas de 0,5 ha

Costos Operativos	Cantidad	Costo Unitario	Subtotal
Implantes de algas semilla (kg)	400	500	200.000
Rafia plástica tie-tie (m)	48.000	10	480.000
Cuchillos	4	5.000	20.000
Caretas de buceo	2	60.000	120.000
Sacos de polietileno	500	500	250.000
Canastas/Cestas plásticas	4	30.000	120.000
Agua potable (litros)	48.000	2	96.000
Balanza mecánica de 50 Kg	1	50.000	50.000
Total costos operativos anuales			1.336.000
Depreciación anual	Vida útil (años)	Depreciación	
Cuerdas de polipropileno	3	293.333	
Área de trabajo y bodega	5	610.544	
Secaderos solares	3	419.467	
Bote cayuco	5	80.000	
Total depreciación anual			1.403.344
Costos totales de producción			
Costos operativos			1.336.000
Depreciación activos			1.403.344
Total costos de producción anuales			2.739.344

Fuente: esta investigación.

Con esta información se logró calcular la rentabilidad de ambos sistemas representada en los ingresos mensuales y anuales, así como en la tasa interna de retorno TIR. Si las granjas son operadas de manera adecuada y eficiente, incluyendo el proceso de siembra, mantenimiento, cosecha, secado y almacenamiento, se puede obtener una producción anual de 13.309 kg de algas secas, aplicando un método de parcelas rotatorias con una producción periódica equivalente a 555 kg mensuales de algas secas. Con el precio en playa en COP 2.000.kg⁻¹ y unos costos mensuales de producción calculados en COP 111.333 se puede lograr un ingreso de COP 997.750.mes⁻¹ (Cuadro 6). Debido a la diferencia en los costos de inversión en cada sistema, la TIR para las granjas de monolíneas fue mucho más alta que las de balsas, registrando 156 y 65 %, respectivamente.

Cuadro 6

Rentabilidad de los sistemas de cultivo de algas marinas

Ingresos y rentabilidad (producción)	
Área total de cultivo (ha)	0.5
Producción (kg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	13.309
Producción anual de algas kg.granja ⁻¹ (peso seco)	6.655
Tasa de crecimiento diario TCD (%)*	1,58
Producción mensual algas secas (kg)	555
Precio en playa seco COP.kg ⁻¹	2.000
Total ingresos brutos COP granja.año ⁻¹ 0,5 ha	13.309.000
Total ingresos brutos granja.mes ⁻¹ 0,5 ha	1.109.083
Costos de producción granja.año ⁻¹	2.739.344
Costos de producción granja.mes ⁻¹	111.333
Disponible granja.año ⁻¹	10.569.656
Total disponible granja.mes ⁻¹	997.750
TIR % Sistema monolíneas	156
TIR % Balsas flotantes PVC	65

*TCD promedio calculada para los cultivos de E. isiforme
Fuente: esta investigación.

Selección de lugares adecuados para la instalación de granjas marinas

Las evaluaciones de campo realizadas mostraron la existencia de áreas disponibles para el establecimiento de granjas marinas en la zona de influencia del proyecto, comprendido entre los corregimientos de Cabo de la Vela y Carrizal (Municipio de Uribia), equivalente a un total de 20 km de costa y a unas 45 ha en la zona marino costera, lo cual permitirá la instalación de unas 90 granjas de 0,5 ha, distribuidas entre las comunidades de Soulipa, Carrizal, Alema y Aipir (Cuadro 7). El tipo de sustrato en la zona está representado principalmente por fondos blandos o mixtos desnudos, fondos mixtos o blandos con fanerógamas y octocorales sobre fondos blandos o mixtos. La batimetría del área de estudio está caracterizada por fondos someros con una pendiente muy reducida, en algunos casos es menor de 20 grados. La amplitud de la plataforma ideal para la instalación de las granjas se extiende aproximadamente hasta 150 m, donde la profundidad es < 3 m.

Cuadro 7

Ubicación y características de los principales lugares seleccionados para la instalación de granjas de algas marinas en los corregimientos del Cabo de la Vela y Carrizal, Municipio de Uribia, Guajira.

Lugar	Corregimiento	Coordenadas	Área (ha) cultivable	Población estimada	Tipo de sustrato
Aipir	Cabo de La Vela	N 12°08'15" W 72°08'38"	10	80	Fondos duros rocosos
Alema	Carrizal	N 12°03'30" W 72°09'45"	10	50	Idem
Carrizal	Carrizal	N 12°00'38" W 72°10'47"	10	100	Pastos marinos y arena consolidada
Soulipa	Carrizal	N 11°58'11" W 72°12'03"	5	40	Areno fangoso
Total			45	270	

Fuente: esta investigación.

Para la selección de los lugares también se tomó en cuenta la presencia de comunidades de pescadores, en su totalidad pertenecientes a la etnia Wayúu, conocidos localmente como Apalaachi, cuyas condiciones de vida son bastante precarias y sus ingresos, principalmente generados por la pesca artesanal y la cría de caprinos en menor escala, son exiguos, tal como ha sido reportado por Rincones y Gallo (2004), Moreno y Forero (2004) y más recientemente por Rincones y Moreno (2010), donde se realizó un diagnóstico socioeconómico participativo que mostró un índice de necesidades básicas insatisfechas (NBI) del 100 %. Adicionalmente, los habitantes de estas localidades han participado en programas de capacitación y asistencia técnica, con miras a la instalación de granjas familiares para el cultivo del alga *Kappaphycus alvarezii* (Rincones, 2006; Rincones & Gallo, 2004). *K. alvarezii* es la principal especie productora de carragenina y posee una alta demanda y excelente precio en todo el mundo (Neish, 2009), pero la falta de apoyo institucional y gobernanza de las autoridades ambientales impidieron su consolidación como actividad económica por ser una especie originaria del sudeste asiático que ha sido introducida en más de 30 países y localidades (Ask, Batibasaga, Zertuche-Gonzalez & de San, 1999).

Discusión

Durante el curso de esta investigación se pudo determinar la rentabilidad de dos diferentes estructuras de cultivo, tomando en cuenta el diseño y construcción de unidades compuestas por materiales e insumos de bajo precio y fácil acceso en la zona. Al lograr niveles de producción mensuales superiores a los 500 kg de algas secas, con un precio aproximado de COP 2.000.kg⁻¹, se pueden generar importantes beneficios económicos a una población que vive en condiciones de extrema pobreza, reflejado en los bajos niveles de ingresos provenientes de la actividad pesquera, los cuales están alrededor de COP 65.000 por faena para grupos de 3 a 5 personas, algunas veces del mismo núcleo familiar. Rincones (2006) determinó el tiempo requerido para la operación de granjas marinas en las comunidades meta, usando un sistema de cultivo similar. La ocupación requerida para atender una parcela de algas marinas depende en parte de la diligencia agronómica de los granjeros, la especie cultivada, la fertilidad de lugar y la época del año (Santelices, 1999). Para atender los cultivos en la zona de estudio se requiere un promedio aproximado de 16 horas semanales por persona, para una parcela de 0,5 ha operada por 3 a 4 personas, representando una ocupación parcial que genera ingresos adicionales, donde además podrían participar mujeres y personas excluidas de las actividades tradicionales de pesca, fomentando de esta forma la equidad de género y la diversificación de la economía domestica. Si se logra establecer un programa de apoyo integral que incluya asistencia técnica, socioempresarial y financiera, es posible que se obtenga la activa participación de muchos pobladores de las comunidades costeras en esta deprimida región del país.

Para considerar si un área posee las condiciones apropiadas para la instalación de granjas marinas, se debe tomar en cuenta la fertilidad del lugar, la cual depende de varios factores intrínsecos definidos dentro de los conceptos actuales de la agronomía marina, según Santelices (1999) se destacan:

- A. Luz (transparencia e irradiación)
- B. Temperatura del agua y del aire
- C. Calidad de agua (nutrientes, salinidad)
- D. Corrientes y movimiento de agua
- E. Aspectos ecológicos (presencia de depredadores, epifitismo y sombreado por parte de otras algas, etc.).

La fertilidad representa la capacidad potencial de producción de un lugar determinado, así como la combinación favorable de factores ambientales. Para

el establecimiento de granjas marinas es necesario que las zonas seleccionadas se encuentren ubicadas cerca de las poblaciones, sin interferir con los canales de navegación, las actividades de pesca y el turismo. Las evaluaciones realizadas en la región han permitido hacer un cálculo de unas 45 ha potenciales para establecer unas 90 granjas familiares de 0,5 ha, ocupando inicialmente las áreas con menor conflicto de uso. Las aguas en la región de estudio presentan condiciones normales para sus parámetros fisicoquímicos y de calidad de agua. Durante la temporada climática seca, se presentan fenómenos de surgencia que influyen en los contenidos de nutrientes y en la temperatura del agua (Álvarez-León et al., 1995). La distribución de la temperatura superficial en el sur del mar Caribe, está muy influenciada por la acción de los vientos alisios, las corrientes superficiales y la batimetría, que inducen cerca de las costas a la formación de focos de agua frías que se dispersan predominantemente hacia el noroeste (Andrade & Barton, 2004). Estas condiciones oceanográficas pueden contribuir positivamente en la productividad de las granjas marinas. Sin embargo, es necesario realizar una evaluación a mediano y largo plazo, debido a que estas masas de agua fría contienen altos niveles de nutrientes.

El cultivo de algas es una actividad de baja inversión y fácil manejo, siempre y cuando cuente con un plan adecuado de acompañamiento que permita el establecimiento y consolidación de la cadena productiva, facilitando los canales de comercialización y viabilizando los permisos y licencias necesarias para la operación de las granjas. Si se logra ensamblar un adecuado plan de trabajo y una buena estrategia de intervención, es muy probable que la maricultura se convierta en un nuevo modelo económico y de desarrollo rural en una de las regiones más deprimidas de Colombia, que de manera paradójica cuenta con todos los recursos naturales y humanos necesarios para salir de la pobreza.

Agradecimientos. Los autores agradecen el apoyo y la colaboración de la comunidad Wayúu en los corregimientos del Cabo de La Vela y Carrizal particularmente a Griselda Freile, al igual que al técnico Jorge Bernier y Andrys Olea, aprendiz del SENA.

Referencias

- Álvarez-León, R., Aguilera-Quiñónez, J., Andrade-Amaya, A. & Patrick, N. (1995). Caracterización general de la zona de surgencia en La Guajira colombiana. *Rev. Acad. Col. Cienc.*, 19 (75), 679-694.
- Andrade, C. & Barton, E. (2004). The Guajira upwelling system. *Continental Shelf Res.*, 25 (9), 1003-1022.
- Areces, A. J. & Céspedes, N. (1992). Potencialidad productiva de algunas caragenófitas del Indopacífico en aguas del Caribe. *Boletín de la Red Latinoamericana de Acuicultura*, 6 (2), 13-16.
- Areces, A. J. & Soberats, L. (1992). Optimización del cultivo in situ de *Bryothamnion triquetrum* (Gmelin) Howe, mediante evaluación de diversos sistemas de sujeción. *Ciencias Marinas*, 18 (2), 65-76.
- Ask, E. I., Batibasaga, J. A., Zertuche-Gonzalez, J. A. & de San, M. (2003). Three decades of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta) introduction to non-endemic locations. In A. Chapman, R. J. Anderson, V. Vreeland & I. Davison (Eds.), *Proceedings of the XVII International Seaweed Symposium* (pp. 49-57). Oxford: Oxford University Press.
- Borrero, F., Díaz, J. M. & Seczon, A. (1996). *Las ostras perlíferas (Bivalvia: Pteriidae) en el Caribe Colombiano. Historia de explotación, ecología y perspectivas para su aprovechamiento*. Santa Marta, Colombia: INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 1.
- Bula-Meyer, G. (1985). Un núcleo nuevo de surgencia en el Caribe colombiano detectado en correlación a las macroalgas. *Boletín Ecotrópica*, 12, 3-25.
- Bula-Meyer, G. (1990). *Cultivo experimental en el mar del alga béntica Grateloupia filicina*. En E. C. de Oliveira & N. Kautsky (Eds.), *Proceedings of Workshop Cultivation of Seaweeds in Latin America*, Sao Sebastiao (S. P.), Brazil, April 2-8, 1989 (pp. 101-104).
- Bula-Meyer, G. (1998). *Macroalgas marinas del Caribe y Pacífico colombianos: diversidad de especies, formas y disturbancias que las regulan*. En *Memorias del IV Congreso Latinoamericano de Ficología*, Caxambú, Brasil, julio 28 - agosto 03, 1996 (Vol. 2, pp. 167-179).
- Delgadillo Garzón, O. & Newmark-Umbreit, F. (2008). Cultivo piloto de macroalgas rojas (Rhodophyta) en Bahía de Portete, La Guajira, Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 37 (2), 7-26.
- Freile-Peigrín, Y. & Robledo, D. (1997). Effects of season on the agar content and chemical characteristics of *Gracilaria cornea* from Yucatán, Mexico. *Bot. Mar.*, 40, 285-290.
- García Vásquez, A. & Pardo Castro, P. V. (2002). *Observación de la adaptación de Kappaphycus alvarezii (Doty, 1988) y la variación de tasa de crecimiento en el Acuario Mundo Marino*. Seminario de Investigación No. 112 de la Facultad de Biología Marina de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia. Disponible en www.utadeo.edu.co/caribe/santamarta/servicios/autores_titulos.php
- Moreno, D. A. & Forero, C. E. (2004). *La comunidad costera y el manejo sostenible de los recursos marinos: experiencias y estudios en el Cabo de La Vela, Guajira*. Fundación para la conservación de la diversidad biológica, Terrazul. (ISBN 9583364703)

- Muñoz, J., Freile-Pelegrín, Y. & Robledo, D. (2004). Mariculture of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) color strains in tropical waters of Yucatán, México. *Aquaculture*, 239, 161-177.
- Neish, I. C. (2009). *An analysis of world production and trade in Tropical Red Seaweeds with focus on the Philippines and Indonesia*. [Personal Services Agreement PSA FIEDP 127/7/2009]. Rome: FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2006). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Roma: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO.
- Paula, E. J., Pereira, R. T. & Ostini, S. (1998). *Introdução de espécies exóticas de Eucheuma e Kappaphycus (Gigartinales Rhodophyta) para a produção de carragenanas no litoral brasileiro*. Memorias del IV Congreso Latinoamericano de Ficología, Caxambú, Brasil, julio 28 - agosto 03, 1996 (Vol. 2, pp. 341-357).
- Pulverman, C. (2006). *Los impactos socioeconómicos del proyecto de desarrollo sostenible en la entrada norte del Canal de Panamá en la Comunidad de Cativá Colón, Panamá*. SIT Graduate Institute/SIT Study Abroad. Revisado diciembre, 2010, en http://digitalcollections.sit.edu/isp_collection/373
- Reis, R. P., Bastos, M. & Góes, H.G. (2007). Cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no litoral do Rio de Janeiro: subsidios ao monitoramento ambiental da produção em escala industrial. *Panorama da Aquicultura*, Janeiro/Fevereiro, 42-47.
- Racca, E., Hurtado, R., Dawes, C., Balladares, C. & Rubio, J. (1993). Desarrollo de cultivo de *Gracilarias* en la Península de Araya (Venezuela). En: J. A. Zertuche González (Ed.), *Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en América Latina y el Caribe* (pp. 33-38). [Proyecto AQUILA II, Documento de Campo No.13]. Roma: FAO.
- Rincones, R. E. (1990). Experimental cultivation of an agarophyte alga: *Gracilaria cornea* in the northwest coast of Venezuela. In E.C. de Oliveira & N. Kautsky, (Eds.), *Cultivation of seaweeds in Latin America* (pp. 65-67). Brazil: University of São Paulo.
- Rincones, R. E. (2006). The Jimoula Initiative. En A. T. Critchley, M. Ohno & D. B. Largo (Eds.), *World Seaweed Resources: An authoritative reference system*. [DVD-ROM]. Amsterdam: University of the Netherlands.
- Rincones, R. E. & Gallo, H. M. (2004). *Programa de capacitación en el cultivo de algas marinas "Jimoula" a las comunidades del Cabo de la Vela, Península de La Guajira*. Proyecto Fortalecimiento para el desarrollo de empresas rurales a partir de productos de la biodiversidad en el Cabo de la Vela, Departamento de La Guajira (Informe Final. FAO TCP/COL/2901). Manuscrito no publicado.
- Rincones, R. E. & Moreno, D. (2010). *Proyecto desarrollo experimental de la maricultura de algas como alternativa productiva a las comunidades costeras entre los corregimientos de Carrizal y Cabo de La Vela, departamento de La Guajira* (Informe Final. Convenio Fundación Terrazul-SENA). Manuscrito no publicado.
- Rincones, R. E. & Rubio, J. (1999). Introduction and comercial cultivation of red alga *Eucheuma* in Venezuela for the production of phycocolloids. *World Aquaculture Magazine*, 30, 57-61.

- Rincones, R. E., Rubio, J. N. & Racca, E. C. (1992). *Gracilaria* pilot farming in Venezuela. En K. E. Mshigeni, J. Bolton, A. Critchley & G. Kiangi (Eds.), *Sustainable seaweed resource development in sub-Saharan Africa* (pp. 309-318). Windhoek: University of Namibia.
- Robledo, D. (2005). The seaweed resources of Mexico. En A. T. Critchley & M. Ohno, (Eds.), *Seaweed resources of the world* (pp. 331-342). Tokyo, Japan: Japan International Cooperation Agency.
- Robledo, D. & Freile-Pelegrín, Y. (2010). Prospects for the cultivation of economically important carrageenophytes in southeast Mexico. *Journal of Applied Phycology*. (DOI 10.1007/s10811-010-9585-8)
- Santelices, B. (1999). A conceptual framework for marine agronomy. *Hydrobiologia*, 398/399, 15-23.
- Smith, A. H. & Renard, Y. (2002, June). *Seaweed cultivation as a livelihood in Caribbean coastal communities*. Paper presented at the ICRI Regional Workshop for the Tropical Americas: Improving Reefs Condition Through Strategic Partnerships. Cancún, México. [CANARI Communication No. 309].
- Smith, A. H. & Rincones, R. E. (2006). Seaweed resources of the Caribbean En A. T. Critchley, M. Ohno & D. B. Largo (Eds.), *World Seaweed Resources: An authoritative reference system* [DVD-ROM]. Amsterdam: University of the Netherlands.