

**Informe final\* del Proyecto M151**  
**Agronomía marina: una alternativa para el desarrollo de las comunidades pesqueras de Dzilam de Bravo, Yucatán**

**Responsable:** Dr. Daniel Robledo Ramírez  
**Institución:** Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida  
Departamento de Recursos del Mar  
Laboratorio de Ficología  
**Dirección:** Apartado Postal 73 Cordemex, Mérida, Yuc, 97310 , México  
**Correo electrónico:** [robledo@kin.cieamer.conacyt.mx](mailto:robledo@kin.cieamer.conacyt.mx)  
**Teléfono/Fax:** Tel: 01(99)81 2973 Fax: 01(99)81 2917  
**Fecha de inicio:** Junio 30, 1997  
**Fecha de término:** Febrero 18, 2000  
**Principales resultados:** Fotografías, Informe final  
**Forma de citar\*\* el informe final y otros resultados:** Robledo Ramírez, D. 2000. Agronomía marina: una alternativa para el desarrollo de las comunidades pesqueras de Dzilam de Bravo, Yucatán. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida. Departamento de Recursos del Mar. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. M151.** México D. F.

**Resumen:**

Se presenta una propuesta de investigación para desarrollar el cultivo de algas del género Gracilaria en la costa de Dzilam de Bravo con el objeto de que esta actividad sea implantada por la comunidad de pescadores de Dzilam de Bravo como una actividad económica alternativa. Este proyecto toma como objetivo la comunidad de pescadores de Dzilam de Bravo para el desarrollo de la agronomía marina como una alternativa de empleo en la comunidad, basándose en las siguientes premisas de trabajo:

1. Que los recursos marinos actualmente explotados están sujetos a periodos de veda en beneficio de su conservación. 2. Que el litoral de Dzilam de Bravo existen poblaciones naturales de la especie de alga roja Gracilaria cornea, 3. Que los resultados de estudios prospectivos y ecológicos señalan que las poblaciones de Gracilaria cornea crecen durante un periodo comprendido entre marzo y agosto, coincidiendo con la época de veda del pulpo salvo en el mes de agosto, la de la langosta salvo en el mes de julio y con dos meses sobre los cuales no se pesca mero, a saber marzo y abril.

La estrategia del proyecto ha sido diseñada para cubrir dos niveles de desarrollo con una duración de 18 meses: el nivel institucional donde el conocimiento, la capacidad y la tecnología serán utilizadas para la planeación de las pruebas de campo y el desarrollo de las granjas piloto; y el nivel de los beneficiarios directos en donde el manejo de estos sistemas de producción ofrecerá la oportunidad de empleo a la comunidad de pescadores. Se considera que por la problemática social de la región, los antecedentes de investigación sobre los recursos algales, y la pertinencia de este tipo de proyectos para el uso sustentable de la biodiversidad de los recursos marinos (explotados e inexplorados), la agronomía marina se puede implantar como una alternativa al desarrollo de la comunidad.

- 
- \* El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
  - \*\* El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

# **Agronomía Marina: una alternativa para el desarrollo de las comunidades pesqueras de Dzilam de Bravo, Yucatán**



Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del I.P.N.  
CINVESTAV Unidad Mérida - Departamento de Recursos del Mar  
Km 6 antigua carretera a Progreso, 97310 Cordemex  
A.P. 73 Mérida, Yucatán

**Dr. Daniel Robledo Ramírez**  
Investigador Titular CINVESTAV-3B  
Responsable del Laboratorio de Ficología Aplicada  
Tel. +52 99 81 29 60 ext. 270  
Fax. +52 99 81 2917  
Correo electrónico: [robledo@kin.cieamer.conacyt.mx](mailto:robledo@kin.cieamer.conacyt.mx)

Proyecto CONABIO-MacArthur **M151**  
Informe Final - Julio 1999

## INTRODUCCIÓN

La demanda mundial de algas y sus productos derivados, que se emplean en la industria alimentaria (agar, carragenanos y alginatos) ha sido el factor que ha propiciado el desarrollo de tecnologías para la producción de especies de algas de interés económico. En particular la producción de agar se deriva de tres fuentes: material recolectado como arribazón, cosecha directa de poblaciones naturales y cultivo. La mayor parte de las algas utilizadas en la industria para la extracción de agar provienen de la cosecha de poblaciones naturales, aunque no existen datos exactos de la contribución de algas por cultivo se estima que por los datos de importación de Japón hasta 1984 más del 50% de algas para la industria del agar provenían de poblaciones naturales.

De los géneros de algas productoras de agar, la única especie que se cultiva en la actualidad es *Gracilaria*, el comienzo de esta actividad se produjo en la primera mitad de 1980 cuando Chile, Brasil, Taiwán y las Filipinas comenzaron a exportar *Gracilaria* cultivada a Japón. Más recientemente, otros países como Vietnam, Indonesia, Tailandia y Hawai han aplicado técnicas de cultivo para hacer más eficiente la producción de agar a partir de *Gracilaria*. Aun así la mayor parte de la biomasa de este género viene de poblaciones naturales lo que implica problemas ecológicos y de biodiversidad por las estrategias de cosecha empleadas, es por esto que en la actualidad se favorece la producción de algas a través de cultivo, actividad que va ganando adeptos alrededor del mundo como una forma de generar biomasa, sin alterar ni acabar con los stock naturales, y que por otro lado asegura la integración de las comunidades pesqueras a una actividad alternativa de bajo impacto que les genera ingresos extras.

La producción de algas agarofitas a través de cultivo en el mar requiere de dos estrategias básicas para tener éxito, que sea fácilmente asimilable por la comunidad encargada de hacerlo y que sea rentable económicamente. El control del ciclo de vida de la especie en

condiciones de laboratorio es crucial para promover su cultivo de forma sencilla sin necesidad de gran cantidad de mano de obra. No obstante, la técnica de propagación vegetativa es hasta el momento la técnica más empleada para el cultivo del género *Gracilaria* en el mundo. Hasta la fecha decenas de granjas piloto y comerciales han sido establecidas utilizando esta técnica en la India, Sri Lanka, China, Filipinas, Indias Occidentales, Cuba, Namibia, Sudáfrica, Brasil, Chile y Venezuela (Dawes 1995). A pesar de ello, la técnica de esporas tiene ventajas en cuanto a la utilización de material genéticamente diverso aunque requiere de instalaciones donde se pueda llevar a cabo la inoculación de cuerdas y el mantenimiento de los estadios tempranos de las algas hasta un tamaño adecuado para ser transportadas al campo, lo que implica periodos de 'nursery' de al menos un mes. Dentro de las estrategias que se han establecido para el cultivo de *G. cornea* la técnica de propagación utilizando fragmentos vegetativos ha sido seleccionada por ser una técnica que no requiere de instalaciones adicionales en la zona de estudio. Otros sistemas como el uso de balsas flotantes han sido utilizados con éxito en países como la India y Filipinas (Subbaramaiah y Thomas 1990, Guanzon y Castro 1992).

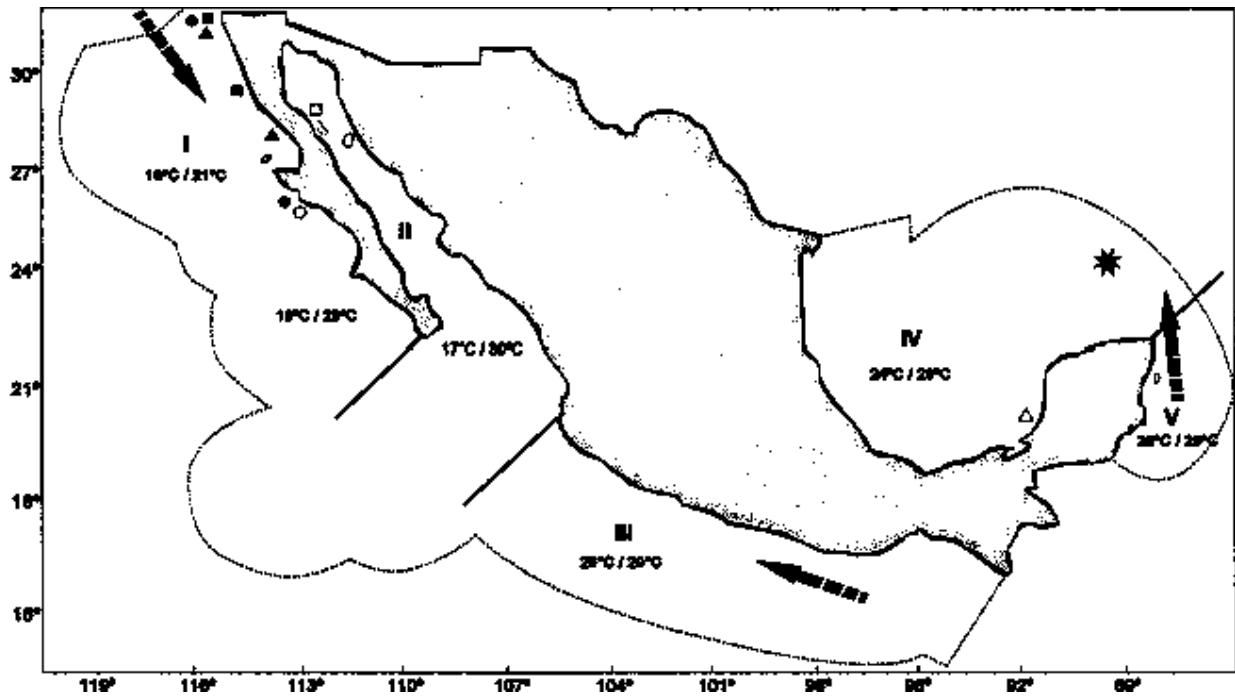
## ANTECEDENTES

El cultivo comercial en el sur de Filipinas de las algas rojas *Kappaphycus alvarezii* (= *Euचेuma cottonii* = *E. striatum* var. *tambalang*) y *E. denticulatum* (= *E. spinosum*) es considerado quizás el más espectacular ejemplo de una empresa de maricultivo exitosa, modificando en apenas una década, la fisonomía mundial de la industria de carragenina. El poder regenerativo de ambas especies y el dominio agronómico alcanzado en su cultivo a partir de los ensayos del Prof. Maxell Doty de la Universidad de Hawai y otros colaboradores durante los primeros años de la década de los 70 (Colina 1975), hicieron posible una rápida expansión del área cultivada, que para 1988 alcanzaba 5,700 Ha (Llana 1991). Hoy en día existen en Filipinas alrededor de 350,000 granjeros agrupados en más de 95,000 micro empresas familiares que se dedican al cultivo de *Euचेuma* en un área total de 46,750 ha. En promedio, las granjas producen entre 28 y 40 TM.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, equivalente a un desembarco total de 160,000 TM de *K. alvarezii* (*E. cottonii*). La facturación anual en 1996 por concepto de exportación de *Euचेuma* seca, carragenina semi-refinada y refinada fue de US\$ 124 millones, siendo ese país Asiático el primer productor de esos rubros a escala mundial (Buendía 1998). A pesar que la propagación de estas especies aún se concentra en las localidades Filipinas de Palawan, Tawi Tawi y otras regiones del sur del Mar Sulu; en las costas de Mindanao y en la zona central de las Visayas, el incentivo de la bonanza ha logrado la consolidación de esta actividad en otras regiones que estuvieron económicamente marginadas. Por otra parte, esto ha hecho que ambas especies poco a poco se hayan diseminado por otras regiones del Pacífico tropical. En 1971, *K. alvarezii* var *tambalang* fue transportada a Hawai, esparciéndose luego a Guam, y a través de la Micronesia a los archipiélagos de Kiribati, Tonga, Fiji y la Oceanía Francesa (Doty 1987).

En Indonesia también se ha desarrollado una sólida industria de cultivo de especies locales de algas rojas promocionada por empresas transnacionales (Adnan & Porse 1987). Estas experiencias se extienden hacia África Oriental a finales de los 70. En esa oportunidad, investigadores franceses del IFREMER llevan implantes de *E. denticulatum* a Djibouti (Braud & Pérez 1979). Posteriormente en 1989 se traslada esta cepa a la isla de Zanzíbar en Tanzania logrando excelentes resultados, donde actualmente se cultivan unas 900 ha, involucrando mas de 10,000 personas (Lirasan & Twide 1993.) En el Mar Caribe, los primeros estudios de cultivo de algas los realiza el IFREMER en las Antillas Francesas, particularmente en las islas de Guadalupe, Martinica y St. Marteen (Barbaroux *et al.* 1984). Pocos años después en 1988, otras algas rojas son introducidas en Florida con propósitos experimentales (Azanza-Corrales

& Dawes 1989). A principios de 1991 el cultivo de algas se extiende a Cuba, también con fines experimentales. Con el fin de acelerar la disponibilidad de biomasa de las especies comerciales, se inició su propagación controlada, luego de permanecer 6 meses en condiciones de laboratorio (Areces & Céspedes 1992). Esta experiencia de introducción ha dado muy buenos resultados en el archipiélago Cubano desde el punto de vista técnico y ambiental, a pesar que en algunos lugares el cultivo se ha visto afectado severamente por la fuerte presión de peces herbívoros. Las principales limitantes de este programa se han debido fundamentalmente al bloqueo económico que ha impedido la comercialización del producto.

En Venezuela, las primeras experiencias sobre la utilización y manejo de las algas para uso industrial datan de la década de los sesenta. Racca (1966), realiza un estudio sobre el contenido de agar de dos especies de *Gracilaria* (*G. debilis*= *G. cornea* y *G. dominguensis*), de la Península de Paraguaná (Cabo San Román). Posteriormente en la misma zona, se inician los primeros ensayos pilotos con *Gracilaria cornea* (= *G. debilis*), insertando implantes infértiles a cuerdas de polipropileno que fueron atadas en balsas de madera, las cuales se fijaron al fondo en profundidades medias de 1.5 m. (Rincones 1990). Así mismo, en el oriente de Venezuela Ganesan & Lemus (1984) hacen referencia de la importancia económica de las algas marinas de la zona. Debido al éxito alcanzado, en 1991 se escala a nivel de granja piloto, con un área de cultivo de 1.5 hectáreas en balsas de bambú y cuerdas de polipropileno, obteniéndose productividades superiores a 5 Kg.m<sup>-2</sup>. En 1992, se dan inicio los cultivos comerciales utilizando el sistema de estructuras flotantes de 900 m<sup>2</sup>, hechas con cuerdas de polipropileno y flotadores plásticos (Racca *et al.* 1993), estas granjas eran de 0.6 hectáreas. En esta etapa se alcanzó una productividad anual de 50 TM.Ha<sup>-1</sup>., con rendimientos de agar entre 15-20% y fuerza de gel entre 800-1200 gr.cm<sup>-2</sup> (1.5% gel). En México la explotación de poblaciones naturales de algas se desarrolla en la península de Baja California, donde también se ha experimentado con el cultivo de la especie local *Gracilaria pacifica* (Zertuche 1993). Los resultados preliminares indican que su cultivo es factible aunque hasta el momento no se ha dado el escalamiento de los cultivos, en otras regiones del país no se ha evaluado la posibilidad de cultivar algas marinas como una actividad alternativa a la pesca.



Regiones costeras mexicanas: I. Baja California, II. Golfo de California, III. Pacifico tropical, IV. Golfo de México, V. Caribe. Areas de cosecha de algas en México: *Macrocystis pyrifera* (■), *Gelidium robustum* (●), *Gigartina canaliculata* (▲), *Gracilaria lemaneiformis* (○), *Euclima acinatum* (□), *Euclima bifurcatus* (○), zona de estudio de *Gracilaria cornea* (★), Robledo (1998).

## CICLO DE VIDA *GRACILARIA CORNEA* J. AGARDH

Entre las consideraciones para proponer el cultivo de *Gracilaria cornea* en Dzilam de Bravo están el utilizar una especie de alto crecimiento que pueda ser propagada utilizando fragmentos vegetativos o a través de esporas; especies con fronde robusto ya que son las que generan mayor cantidad de biomasa entre los periodos de cosecha; y por otro lado deberá tener un contenido de agar de buena calidad. La identificación biológica y los estudios químicos de *G. cornea* han servido para seleccionar esta

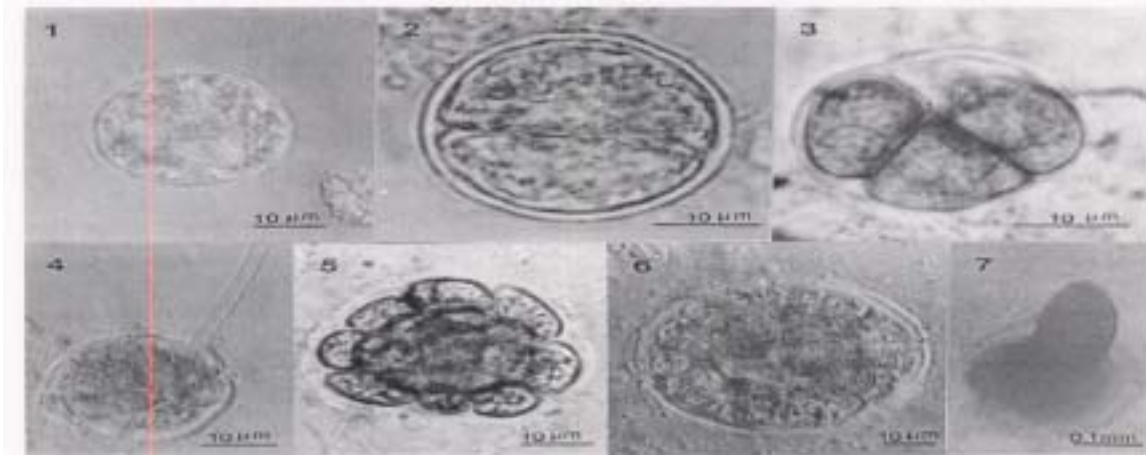
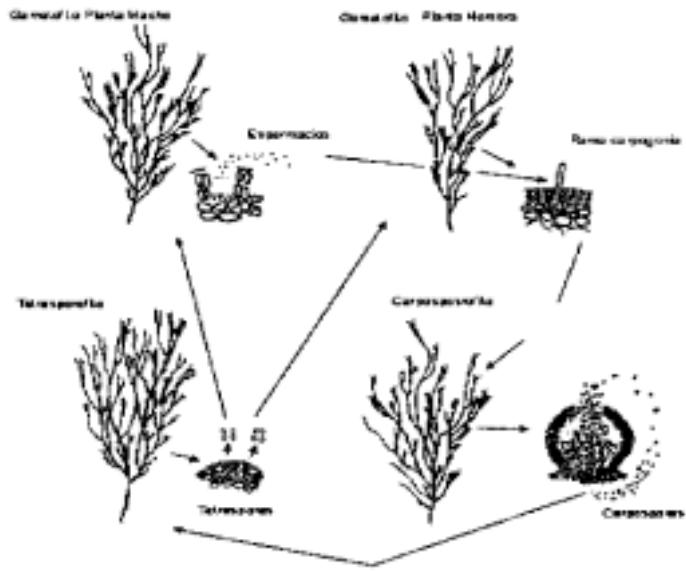
Fig. 1  
Fig. 2

especie como una excelente candidato para promover su cultivo en la región (Freile-Pelegrín & Robledo 1997a, 1997b).

El ciclo de vida de la especie ha sido completado en laboratorio utilizando como variables los factores de luz y temperatura principalmente, además de fotoperiodo y tipo de esporulación (Orduña-Rojas & Robledo 1999, Guzmán-Uriostegui & Robledo 1999). En estos trabajos, a partir

de material carposporofítico se determinaron las condiciones óptimas para el proceso de esporulación lo que permitió obtener plantas de 1 cm en un periodo menor de un mes.



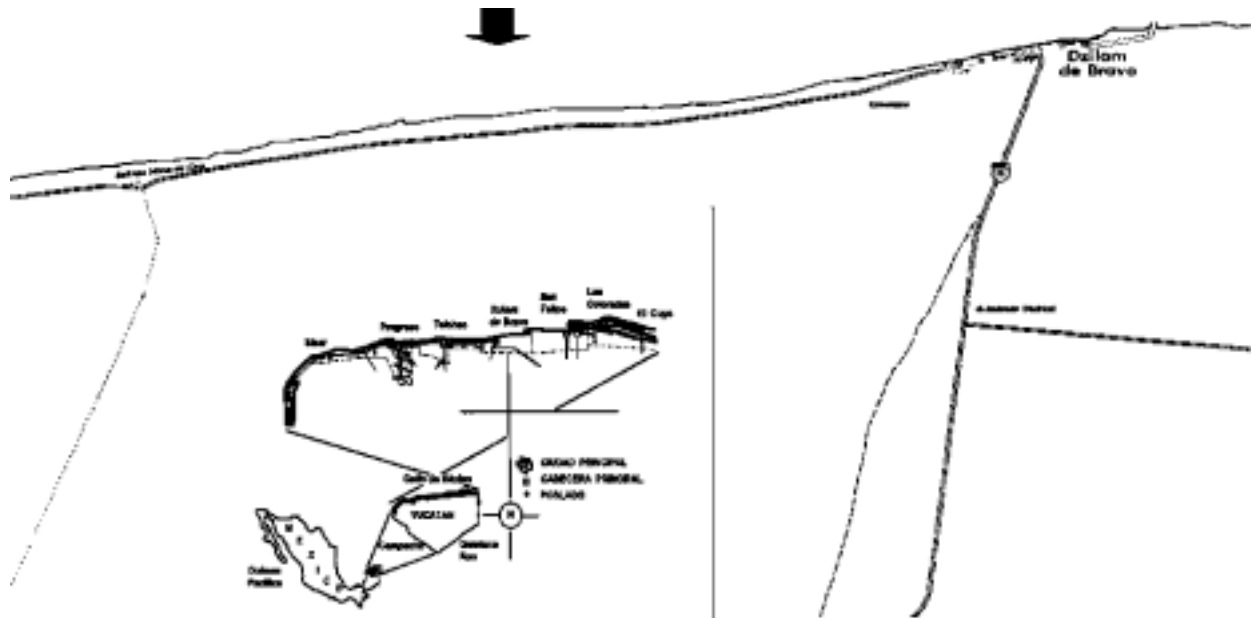


Crecimiento de *Gracilaria cornea* a partir de esporas: 1. Espora recién liberada, 2. Primera división, 3. proceso de desarrollo, 4. Aparición del filamento hialino, 5. Fijación al sustrato, 6. Formación del órgano de fijación, 7. Gracilaria 1 mes después de la esporulación.

## SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DEL SITIO DE CULTIVO

La zona experimental de cultivo se localizó en  $21^{\circ}23'11.5''N$  y  $88^{\circ}56'00.9''O$  aproximadamente a 7 Km al oeste de la población de Dzilam de Bravo. La zona es una playa arenosa de fondos de concha y roca con amplias praderas de pastos marinos (*Thalassia* y *Syringodium*) en donde se encuentran poblaciones naturales de *Gracilaria cornea*.

Área de estudio en la costa del estado de Yucatán



La profundidad promedio del área es de 1.70 m lo que permite que la actividad se desarrolle sin necesidad de lanchas a motor, se considero importante también esta zona por las corrientes generadas por el viento y por mareas, las cuales excepcionalmente sobrepasan los 60 cm de amplitud. La ausencia de un aporte de agua dulce cercano a la zona y la cercanía al puerto de Dzilam de Bravo también fueron consideradas en esta selección.

### **Clima**

La península de Yucatán posee un clima tropical húmedo (humedad promedio 93.5%), con una estación lluviosa en verano. La precipitación anual promedio oscila entre 400-500 mm en la zonas costeras. El máximo de lluvias se registra entre septiembre y noviembre con valores entre 100-134 mm. El período de secas está conformado por los meses de marzo a mayo con un mínimo de lluvias de 2-5 mm. Estos meses se registra la evaporación máxima entre 200 a 250 mm. El promedio de insolación anual es alto, con un promedio de 10.1 horas diarias, con una radiación solar máxima en mayo de 480 cal cm<sup>2</sup> día. Mientras que el período de nortes ocurre generalmente entre noviembre y febrero, con vientos de hasta 27 m/s con dirección nordeste.

Los valores de temperatura en las zonas cercanas al mar varían entre 20 y 35 °C. Las temperatura máximas son de 39.5 °C; las temperaturas medias mínimas son de 19.7 °C y la mínima absoluta 13.6 °C, siendo el mes más cálido abril y el más frío febrero.



Marzo-Junio      Julio-Octubre      Noviembre-Febrero

### **Batimetría**

La batimetría de la zona seleccionada para el desarrollo de los cultivos de *Gracilaria* se encuentra en la plataforma continental está generalmente caracterizada por áreas someras extensas, alcanzando inclusive un desnivel medio de unos 2-4 metros en los primeros 200 metros desde la costa. Estas son zonas protegidas por antiguos arrecifes de coral, las cuales forman áreas extensas con poco oleaje, pero con buen intercambio de agua.

### **Calidad de los sedimentos**

Todas las actividades de cultivo se realizarán en ambiente acuático, particularmente en áreas protegidas de la acción directa del oleaje. La mayoría de los substratos estudiados en esa zona son fondos arenoso. Por otra parte, existen áreas que poseen substratos con una pequeña capa de arena o conchilla seguida de roca calcárea compuesta por antiguos arrecifes de coral.

### **Aporte de nutrientes y contaminantes**

Las poblaciones aledañas a los lugares de cultivo son pequeñas con poca influencia en los aportes de materia orgánica y contaminantes a las granjas marinas.

### **Calidad del Agua**

Debido a la composición de los sedimentos, la batimetría, y a la acción persistente de los vientos y las corrientes marinas; una buena parte de las aguas en el área de Dzilam son productivas. A todo esto se agregan las contribuciones estacionales de las escorrentías submarinas ocasionadas por las precipitaciones estacionales en la región, estas lluvias arrastran consigo nutrientes.

## **FERTILIDAD DE SITIO EN DZILAM DE BRAVO**

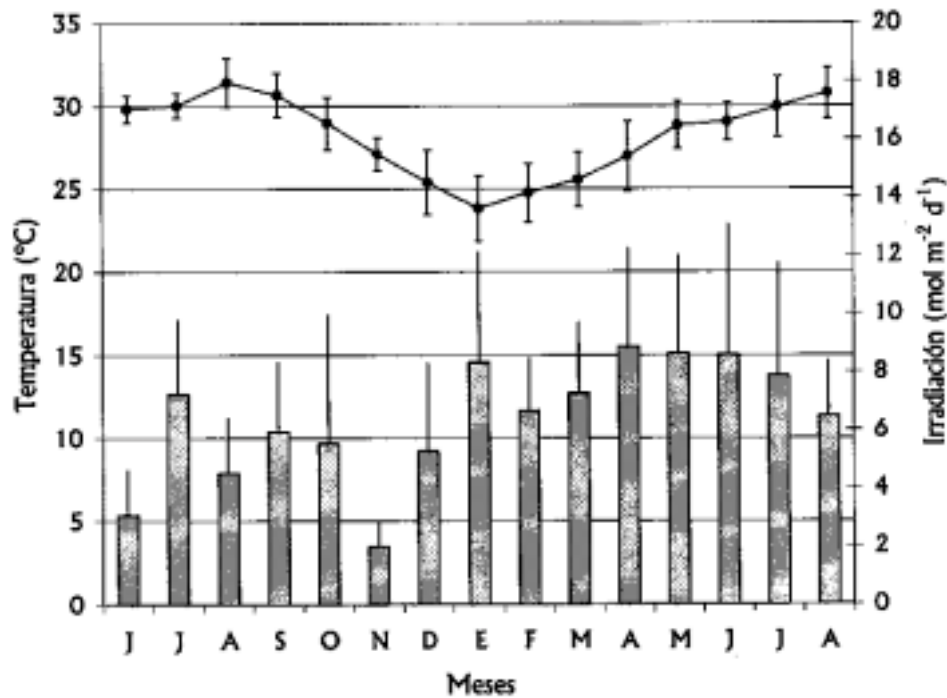
Entre julio de 1997 y junio de 1999 se llevó a cabo una evaluación sobre la calidad del agua en el área con potencial para la instalación de granjas marinas en el estado de Yucatán. Se tomaron registros diarios, cada dos horas, de temperatura e irradiación solar; y registros mensuales de salinidad y nutrientes inorgánicos disueltos. Tal como se señala en la literatura, estos son los principales parámetros que condicionan la fertilidad de un sitio determinado para el cultivo de algas. La temperatura del agua y la irradiación se registraron con sensores submarinos continuos HOB0, la salinidad con

ayuda de un refractómetro marca Atago (Japón) y confirmadas con un conductímetro, las muestras de nutrientes (nitrito, nitrato, amonio, silicatos y fosfato) se desternaron siguiendo la metodología de Strickland & Parsons (1972), colectando muestras de agua de 500 ml en profundidades medias de 1.5 m.

Los resultados obtenidos en este estudio inicial dan valores bastante satisfactorios en los que respecta a las condiciones ideales para el desarrollo de granjas marinas. La temperatura del agua registrada evidencio la generación de tres grandes intervalos de temperatura, el primero que se corresponde a las épocas de nortes con un rango de temperaturas entre 20-25 °C que coincide con los meses de diciembre a febrero. Durante el invierno se nota una disminución < 20°C durante algunos días de estos meses. El segundo rango de temperaturas lo tenemos entre los 25-30 °C que coincide con el otoño de 1997 y 1998, y con la primavera de 1999. Estas temperaturas son las que predominan la mayor parte del año y eventualmente hay disminución de esta por debajo de los 25 °C. Finalmente el tercer rango de temperaturas lo tenemos en la época de verano (una parte de la temporada de lluvias), donde las temperaturas se encuentran entre los 30-35 °C. Este periodo se restringe a unos meses principalmente en la época de lluvias (agosto) siendo en este ultimo mes donde alcanza temperaturas > 35 °C por algunos días. Se puede considerar que a partir del mes de marzo hasta noviembre de cada año la temperatura en el área es adecuada para el crecimiento de *Gracilaria cornea*. De cualquier forma, todas ellas están dentro de los niveles normales para el cultivo de algas marinas en el Caribe y Golfo de México.

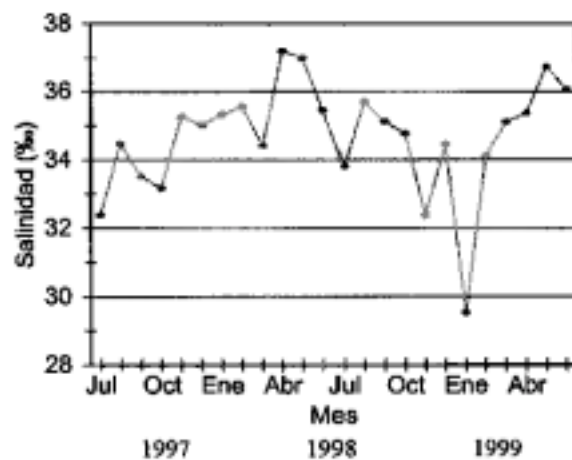
La irradiación solar registrada en la profundidad donde crecen las algas, sigue un patrón similar al de las temperaturas e influida por las épocas del año. Los valores de irradiación solar promedio diaria van de los 4 a 6 mol fotón m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Sin embargo, para el mes de noviembre de 1998 se registran los valores más bajos por debajo de 5 mol fotón m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Como ya se ha explicado en ocasiones anteriores el efecto de los nortes durante estos meses genera la suspensión de material orgánico y sedimentos mismos que limitan la cantidad de luz solar que alcanza el fondo donde habitan las algas. Esto mismo relacionado con los bajos crecimientos en cultivos de fondo por el método de monolíneas en esta época nos lleva a plantear la estrategia estacional de cultivar *Gracilaria cornea* mediante balsas flotantes en este periodo lo que haría que la irradiación no fuese una limitante del crecimiento en cultivo. Es importante señalar que las mayores irradiaciones se dan en los meses de marzo (secas) a julio (lluvias), excediendo los 6 mol fotón m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> mismas que se correlacionan estrechamente con la

temperatura para favorecer el crecimiento algal. Durante el mes de enero de 1999 ocurre un fenómeno particular conocido como 'La Niña' que influyó en la irradiación solar y en la salinidad que fue la más baja registrada en este estudio (29.6‰). Es claro que este crecimiento esta en función de varios parámetros, así como de su interacción, de tal forma que tanto la salinidad y la concentración de nutrientes inorgánicos disueltos en el agua de mar tienden a influir directamente en el crecimiento. No solo es necesaria la presencia de temperaturas por encima de los 25 °C e irradiaciones entre los 4-6 mol fotón m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> para favorecer el crecimiento, sino que éste estará limitado principalmente por la cantidad de nitrógeno y fósforo disponible en el agua.



Variación estacional de la temperatura e irradiación solar en el área de cultivo de *Gracilaria cornea*.

La salinidad se mantiene con un patrón estacional asociado al efecto de escorrentías de agua dulce. La salinidad varía entre 32 a 37 ‰ a lo largo del año, las fluctuaciones más marcadas se deben en parte al período de lluvias, que aporta ciertas cantidades de agua dulce, sobre todo en la zona costera adyacente y particularmente en el mes de enero 1999 que fue muy lluvioso (salinidades menores a 30‰), y las mayores salinidades registradas en época de secas (abril-mayo). La época de lluvias registró las menores salinidades, tanto para el año 1997 como para 1998. No obstante para el inicio de 1999 se dio una reducción de la salinidad durante el mes de enero hasta valores muy por debajo de los registrados anteriormente para la época de lluvias (julio 1997 = 32.38‰ y julio 1998 = 33.83‰). Aunque cabe señalar que en febrero se volvieron a registrar valores por encima de los 34‰, no existe una explicación razonable para esta disminución de salinidad mas que la relacionada con el aporte de agua dulce por lluvias o escurrimiento de manantiales submarinos cercanos al área. De cualquier forma, esto no afecta negativamente a los cultivos, (al contrario sirve de aporte adicional de nutrientes) a pesar que no existen ríos y arroyos en la zona que pudiesen mermar el desarrollo normal de las algas, cuyas tolerancias de salinidad varían entre 20 y 39 ‰ para las Gracilariales. Cabe señalar que este parámetro tiene un efecto sobre la cantidad de agar presente en las plantas, y que puede determinar la calidad de la *Gracilaria cornea* durante el periodo de cosecha.



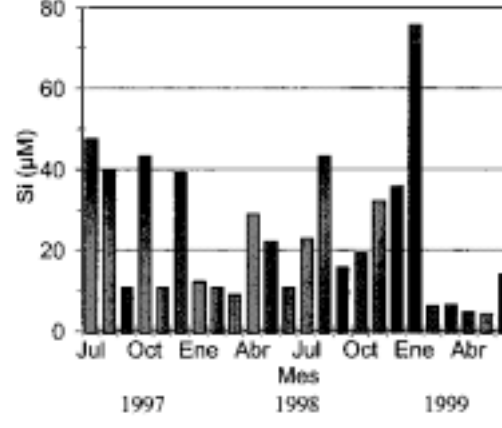
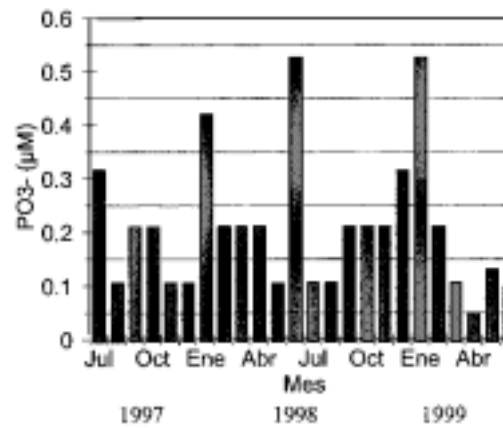
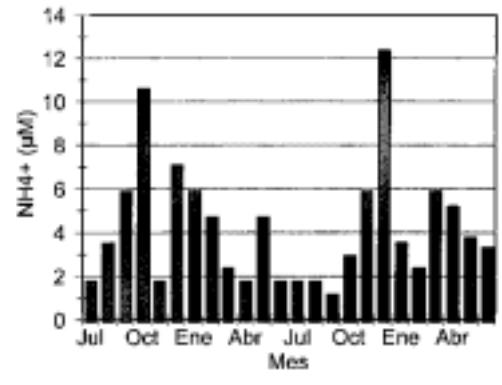
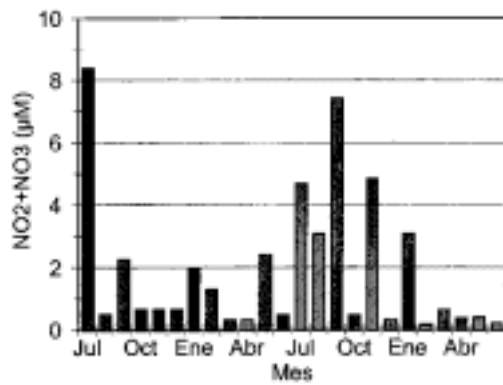
Variación en la salinidad (ppm) del agua de mar a lo largo de 1997-1999.

Se analizaron amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^{-3}$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) y silicatos (Si), aunque solo se consideran limitantes para el cultivo de *Gracilaria cornea* únicamente  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^{-3} + \text{NO}_2^-$ , y  $\text{PO}_4^{-3}$  ya que los silicatos no afectan el crecimiento de esta especie, mientras que la concentración de nitritos fue tan baja ( $< 0.01 \text{ mg/L}$ ) que se reporta como suma de los nitratos. Dentro de los resultados obtenidos en los niveles de nutrientes, los más altos niveles de Nitrato + Nitrito se registraron en el periodo de julio a septiembre, independientemente del año, alcanzando valores por encima de  $2 \mu\text{M}$ , y excepcionalmente para julio 1997 y septiembre 1998 por arriba de  $6 \mu\text{M}$ . Por otra parte el amonio presentó un patrón distinto ya que las mayores concentraciones se registraron para la época de nortes con valores muy altos en Octubre 1997 y Diciembre 1998, durante el resto del año la concentración promedio fue de  $3 \mu\text{M}$ . En el caso del ortofosfato (fósforo reactivo soluble) el patrón es similar al encontrado para el amonio, sin embargo, también se encuentran niveles altos de ortofosfatos durante el meses más lluviosos (junio-julio). Esto ultimo es más evidente para los silicatos, aunque su influencia en el crecimiento de *Gracilaria cornea* no se significativo. Estos nutrientes hacen que la región sea una zona propicia para el desarrollo de estas actividades de maricultivo, ya que si bien no hay evidencias de que ocurra una surgencia el comportamiento estacional de la concentración de nutrientes favorece la toma de decisiones en cuanto al desarrollo del cultivo.

El fenómeno con más influencia en la presencia de nutrientes, particularmente nitratos, fósforo y silicatos, se relaciona directamente con las bajas salinidades encontradas en enero y explica en parte la influencia de corrimientos de agua dulce a través de manantiales, particularmente por la presencia de concentraciones altas de Silicatos  $> 20 \mu\text{M}$ . Los mayores valores de nitrato + nitrito ( $\text{NO}_3^{-3} + \text{NO}_2^-$ ) se han encontrado en julio ( $> 2 \mu\text{M}$ ) y septiembre ( $> 4 \mu\text{M}$ ), si bien para el resto del año han sido más bien bajos.

Los datos obtenidos en la evaluación demuestran el potencial para la instalación de granjas piloto de cultivo, donde además existen poblaciones de pescadores y ribereños que se encuentran con una alta tasa de desocupación. Estas zonas son además de fácil acceso por carretera y vía marítima y poseen los principales servicios necesarios para el establecimiento permanente de familias que se dedicaran a las actividades de cultivo. Los valores de temperatura, salinidad y nutrientes son muy similares a las zonas donde se han obtenido excelentes resultados de crecimiento y calidad de los ficocoloides en otros lugares del mundo.



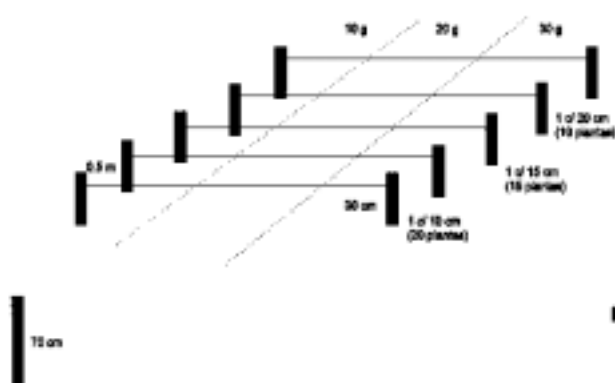


Variación en la concentración de nitrato + nitrito (NO<sub>2</sub> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) y silicatos (Si) en el agua de mar a lo largo de 1997-1999.

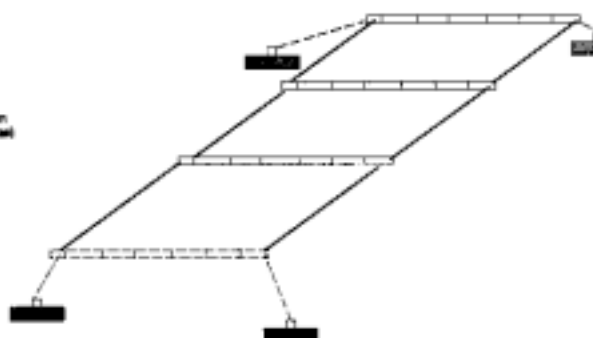
## SISTEMAS DE CULTIVO EN EL MAR

De los tres modelos de cultivo empleados, funcionaron dos. El primero, similar al utilizado en Filipinas comercialmente para el cultivo de *Kappaphycus* y *Eucheuma*, llamado de monolínea. Este sistema consiste en dos palos de madera de mangle de aproximadamente 70 cm que se clavan en fondos arenosos. En el diagrama se muestra como se hizo la instalación de los sistemas y la estrategia de siembra probada. Por otro lado se empleo otro modelo de cultivo, basándonos en los sistemas de cultivo para otras especies de *Gracilaria*, que utilizan en la isla caribeña de Santa Lucía, llamado cultivo en balsas flotantes de bambú. Ambos sistemas probaron ser efectivos en el cultivo de *Gracilaria cornea* en la costa de Yucatán. El tercero un híbrido entre ambos sistemas no funcionó.

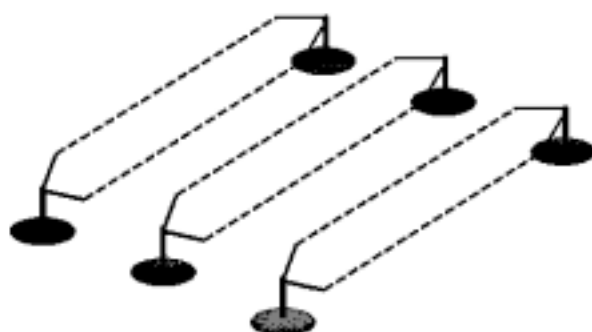
Cultivo Monolínea (nylon + rafia)  
2 x 6 mts



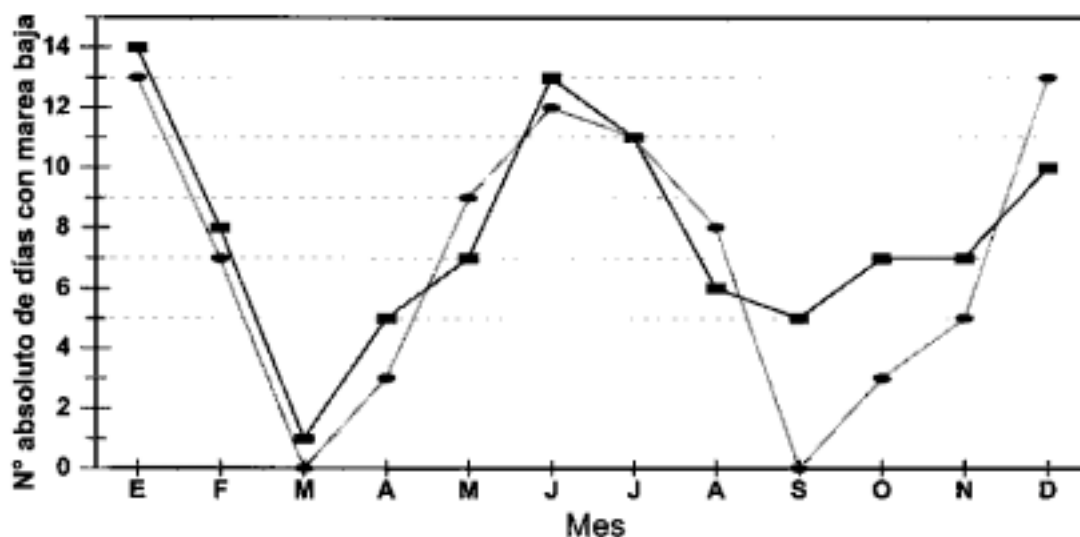
Cultivo de fondo o monolínea (✓).



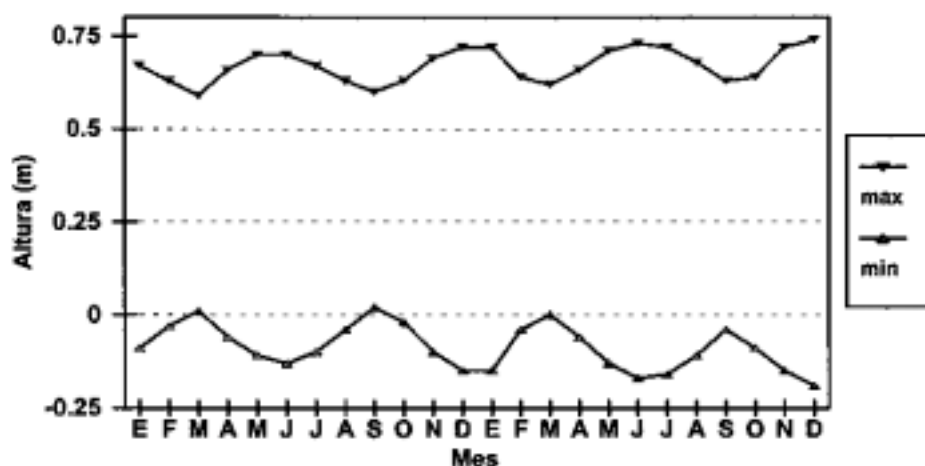
Cultivo suspendido con balsas flotantes de bambú (✓).



Cultivo con muertos tipo aspirina, híbrido entre el sistema de fondo y suspendido (X).



Número absoluto de días con marea baja en Dzilam de Bravo durante 1998 (●) y 1999 (■).



Variación estacional de la marea, nivel máximo (▼) y mínimo (▲) en

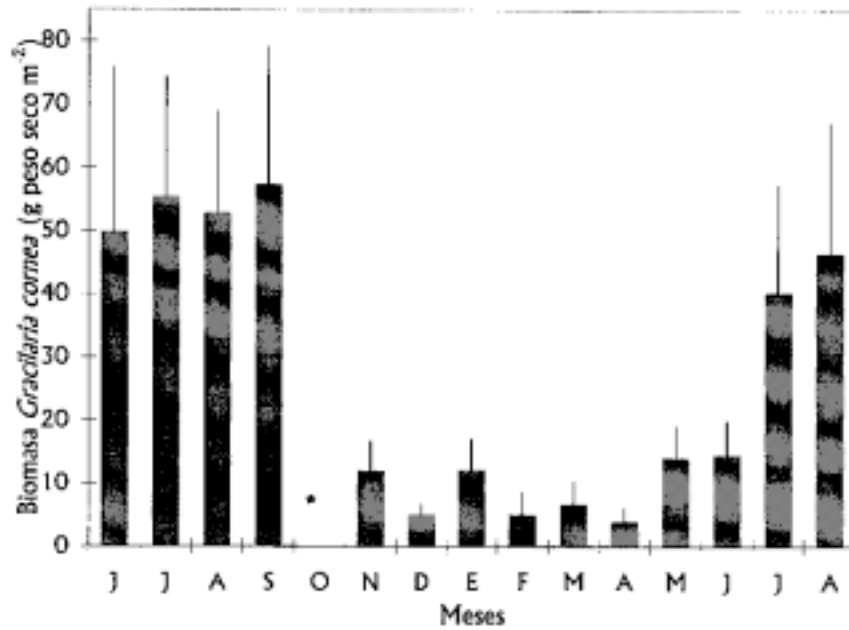
El efecto de la marea y su variación estacional resulto ser de ayuda sobre las actividades relacionadas con el trabajo en las parcelas . Se debe tomar en cuenta tanto durante las estrategias de colecta, siembra y cosecha de *Gracilaria* como durante la instalación de los sistemas de cultivo. El número de días con marea baja durante diciembre-enero y junio-julio nos puede facilitar el experimentar zonas someras de cultivo que puedan ser utilizadas para la instalación de parcelas. Además durante los períodos de marea alta la colecta y/o siembra de *Gracilaria cornea* se pueden ver facilitadas (marzo) y la cosecha al final del periodo de cultivo (septiembre).

## MONITOREO DE LA BIOMASA

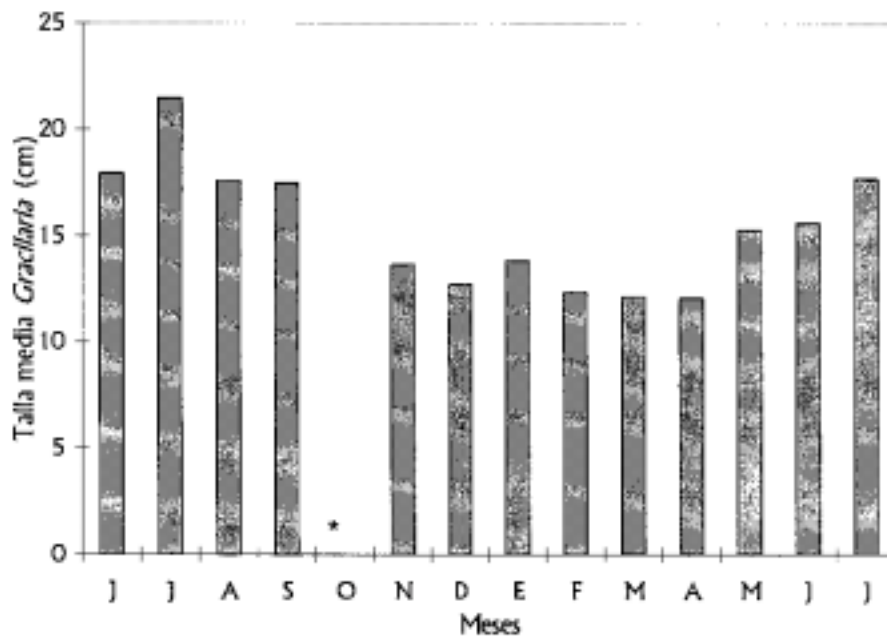
### Características ecológicas de las especies cultivables:

- ☞ *Gracilaria cornea* es común en zonas someras de la costa de Yucatán donde crece abundantemente en poblaciones submareales. *G. cornea* es de color rojo carmesí y su intensidad depende de la disponibilidad de luz y nutrientes en la zona, alcanzando tallas de hasta 60 cm de largo. En ocasiones tiende a confundirse con otras especies de *Gracilaria* de talo cilíndrico aunque es de mayor diámetro que las especies anteriormente descritas. En regiones adyacentes a arrecifes de coral en la costa de Quintana Roo (Isla Mujeres, Tulum, Sian Ka'an) crece en el intermareal. Los especímenes de la costa de Quintana Roo son más pequeños (tallas menores a 20 cm) pero interesantes desde el punto fisiológico ya que soportan mayor irradiación al crecer en la zona intermareal.
- ☞ *Gracilariopsis tenuifrons* están distribuidas a largo de la costa del caribe principalmente en las playas arenosas de Quintana Roo. Esta es una especie terete ramificada de color verde oliva, el cual puede variar dependiendo del estado nutricional de la planta y la disponibilidad de luz en la columna de agua, alcanzando a veces un color rojo carmesí o vino tinto. Son de tamaño variable dependiendo de la profundidad y exposición al oleaje y las corrientes, teniéndose holotipos de individuos tetraspóricos de hasta 1 m de longitud. Esta especie crece todo el año en zonas intermareales y submareales, enterrada en substratos arenoso-fangosos y fijada a pequeñas conchas de mar y piedras.

Los principales factores que afectan el crecimiento de las macroalgas en general y de *G. cornea* en particular son la temperatura, irradiación, nutrientes y salinidad, en ese orden de importancia. Estos factores y sus variaciones anuales e inter anuales condicionaron el crecimiento de *Gracilaria* (como tallas mensuales promedio) y la biomasa cosechada (en peso seco). En cuanto al crecimiento de *Gracilaria cornea*, de acuerdo a la época del año podemos ver que existen condiciones favorables para su desarrollo particularmente durante julio-septiembre. Las bajas tasas de crecimiento encontradas en octubre-febrero son atribuibles a las bajas temperaturas y a la disminución en la luz solar incidente en el sitio de cultivo. Durante este periodo las tasas de crecimiento van de 0.7-1.7% diarios por debajo de los valores reportados para la misma especie en Venezuela (1.4-2.4% día) (citado por Molloy & Bolton 1996). Sin embargo estas tasa de crecimiento para el método de monolínea durante esta época se pueden incrementar colocando los cultivos más cercanos a la superficie del mar, para recibir una mayor cantidad de luz solar, tal y como se plantea en el método de balsas flotantes. No obstante hay que tener en cuenta que durante esta época, bien llamada de



Biomasa de *Gracilaria cornea* cosechada a lo largo de 15 meses en Dzilam de Bravo. (\* dato faltante = Huracán Mitch).

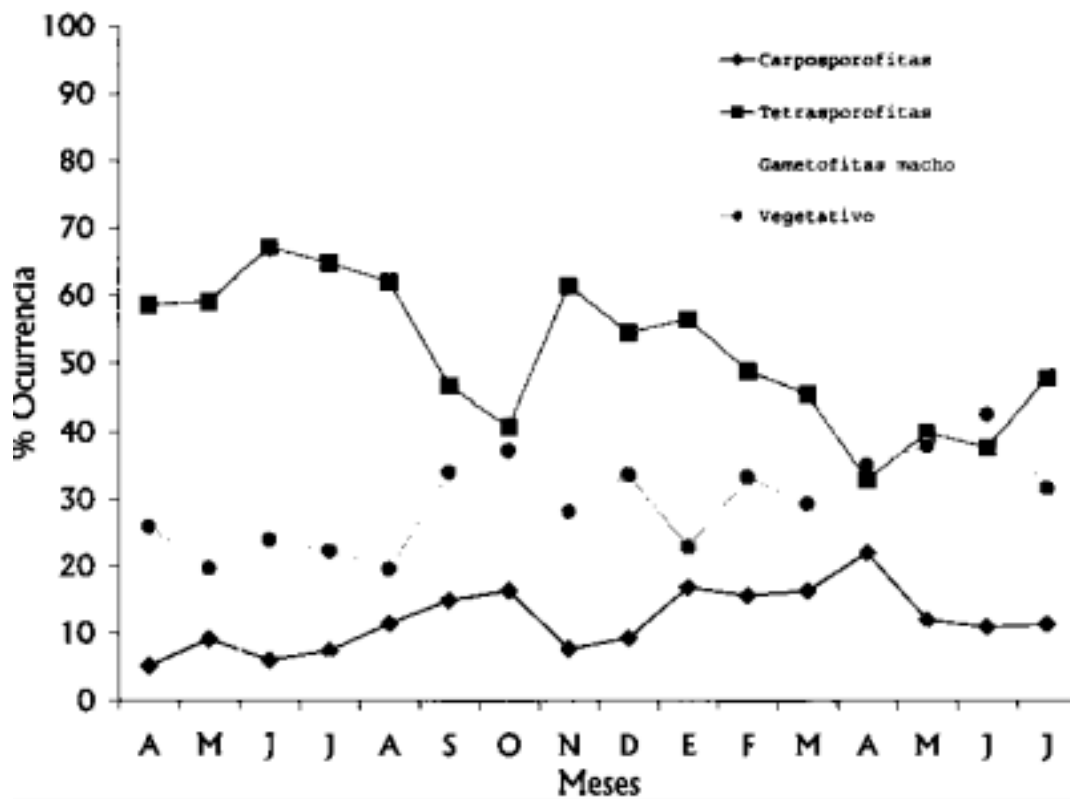


Longitud media de la *Gracilaria cornea* cosechada a lo largo del estudio (\* dato faltante = Huracán Mitch).

nortes, los vientos y las marejadas hacen difícil el trabajo en campo por lo que probablemente los cultivos debieran comenzarse durante marzo, ya cuando las condiciones del mar son adecuadas y terminar cosechando *G. cornea* para septiembre.

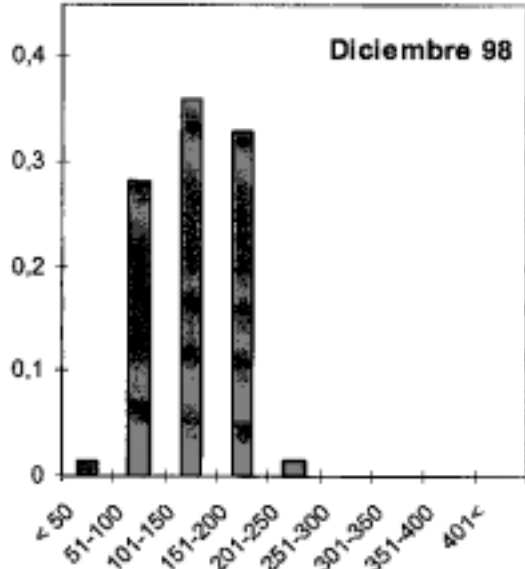
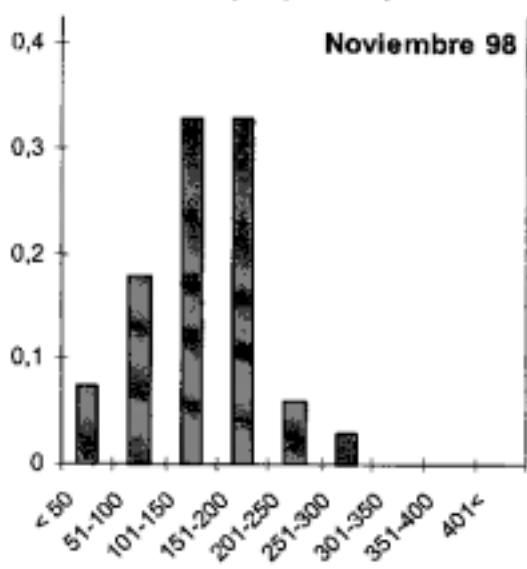
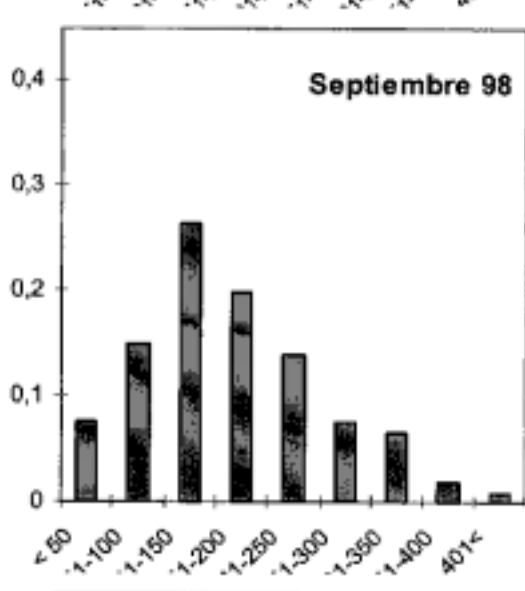
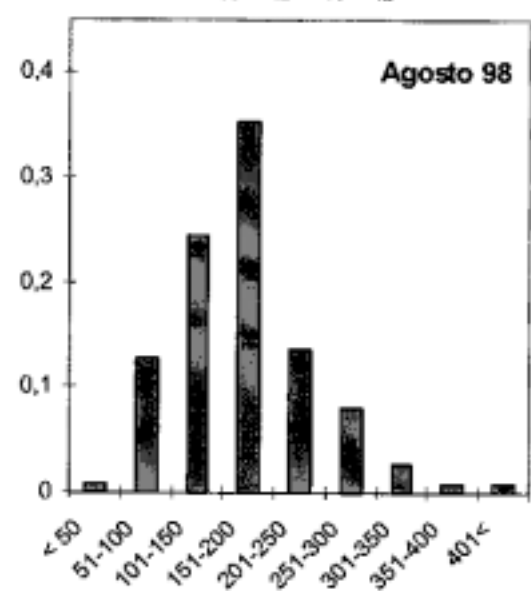
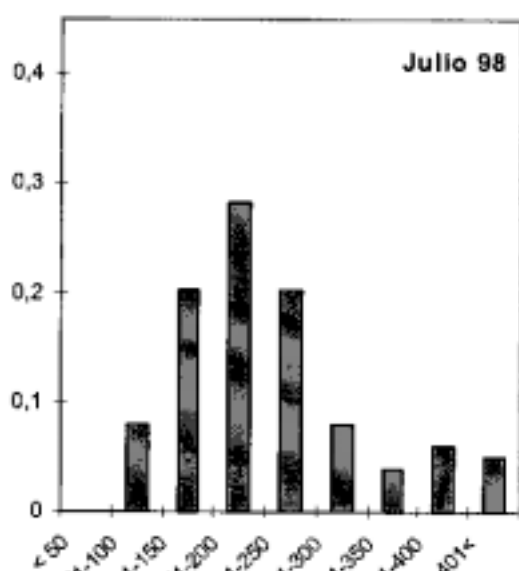
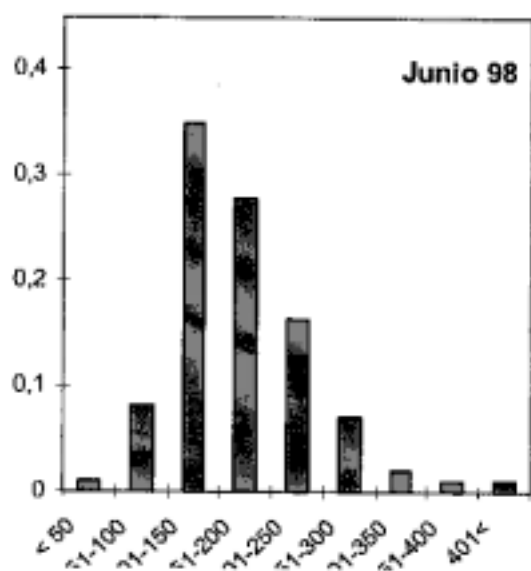
En época de secas se obtiene el mayor crecimiento y biomasa de *Gracilaria cornea* coincidiendo con factores ambientales favorables. Al observar el efecto individual por planta para este periodo se observó un mejor crecimiento por talla obteniéndose valores entre 1.9 hasta 3.8% día, esto representa un valor promedio cercano al 3%, lo que significa un tiempo de duplicación de 30 a 40 días. Lo anterior implica que los períodos de cultivo pueden extenderse hasta 65-75 días para obtener suficiente biomasa por parcela. En base a los resultados obtenidos con los sistemas se recomienda el uso de inóculos de 30 - 50 g con distancias entre inóculos de 20 cm, lo que equivale a densidades de 1.8 y 2.5 Kg por línea. El uso de estacas de mangle ha sido substituido por varas de Xuum y Chucum, maderas duras utilizadas en la construcción, esto evitará la tala innecesaria de mangle en caso de que se use el sistema monolínea. El término semilla se aplica a los implantes infértiles iniciales que se insertan en las cuerdas de polipropileno, los cuales son posteriormente llevados al mar para su desarrollo hasta el momento de la cosecha. A pesar del éxito hasta ahora alcanzado con la propagación vegetativa, el material producido es genéticamente muy uniforme, lo cual podría representar un riesgo en caso de ocurrir cambios ecológicos y ambientales drásticos (*i.e.* aparición de depredadores, organismos epifitos, contaminación ambiental, cambios en las condiciones físico-químicas, etc.). Por otra parte, se desconoce acerca del envejecimiento o desgaste genético que pudiese ocurrir con la cepa propagada exclusivamente por implantes vegetativos. Tal es el caso ocurrido en Chile (actualmente el principal productor de *Gracilaria* y agar en el mundo con 70,000 toneladas de algas secas anuales), donde este fenómeno de envejecimiento o desgaste genético de la cepa ha ocasionado una baja considerable en la productividad de los centros de cultivo, causando en algunos casos la desintegración y pérdida de los implantes. A tal efecto, un grupo de investigadores de la Universidad de Concepción han implementado un sistema de propagación por medio de esporas; logrando además transferir esta tecnología a la empresa privada. Este sistema ha servido también para la creación de nuevos bancos naturales, ya que el material fértil que se ha cultivado libera esporas que eventualmente se fijan en el substrato (IFOP, 1994). Esto se lograría por medio de la reproducción sexual, realizando inclusive estudios de hibridación y mejoramiento genético que garanticen la calidad y productividad de los cultivos comerciales.

Los datos de biomasa obtenidos de *Gracilaria cornea* y estimados en gramos de peso seco por m<sup>2</sup> desde junio 1998 se pueden observar en el gráfico anterior. Las mayores biomásas se observan de junio a septiembre de 1998 alcanzando los 50 g peso seco m<sup>2</sup> (equivalente a más de 8 Kg). Esta época se corresponden a secas y lluvias de ese año. Cabe señalar que para el mes de octubre no se cuentan con datos de biomasa debido a la influencia del huracán Mitch. A partir de noviembre se observa



una drástica reducción de la biomasa con valores entre 5-10 g m<sup>2</sup> (< 2.0 Kg). Este efecto se hace más evidente en diciembre 1998 y Abril 1999 con el valor de biomasa más bajo. Apartir de mayo y juniode este año se observa una recuperación por encima de los 10 g m<sup>2</sup> y es en julio y agosto cuando volvemos a ver un incremento considerable de la biomasa por encima de los 30 g peso seco m<sup>2</sup>. Se espera que en septiembre se logre llegar al valor más alto alcanzado en 1998 (55 g peso de tetrasporas), Gametofitas macho (reproductivas) y vegetativas (no reproductivas) en Dzilam.

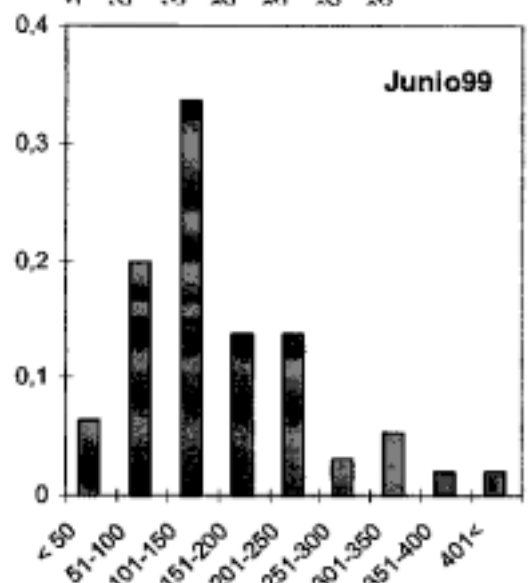
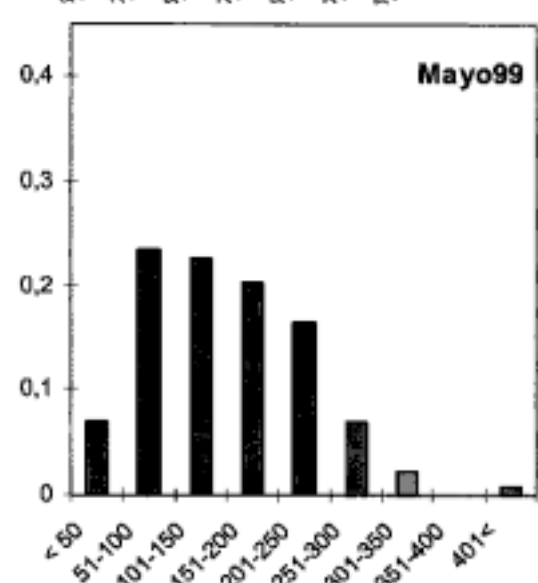
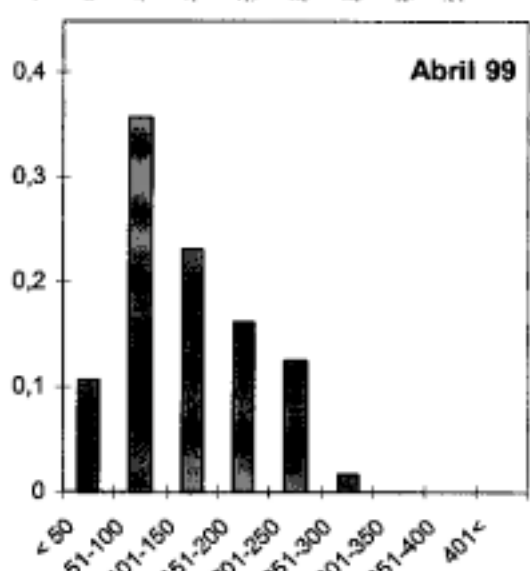
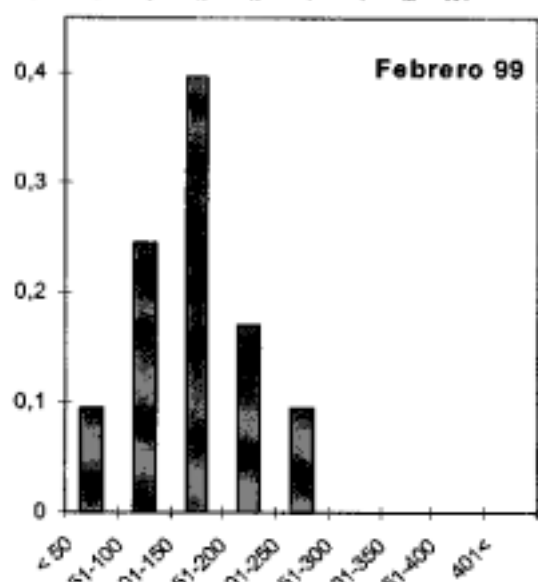
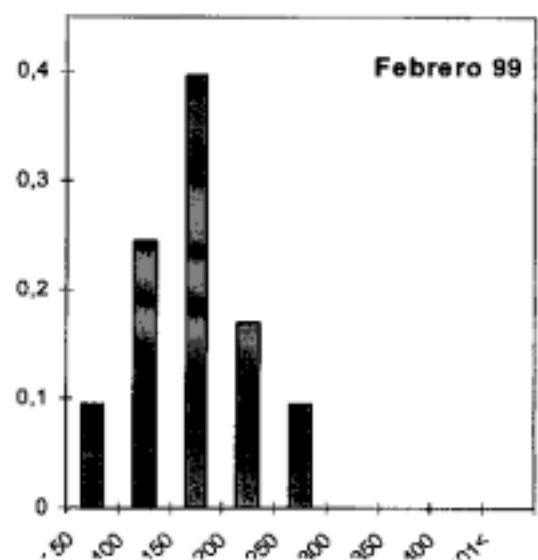
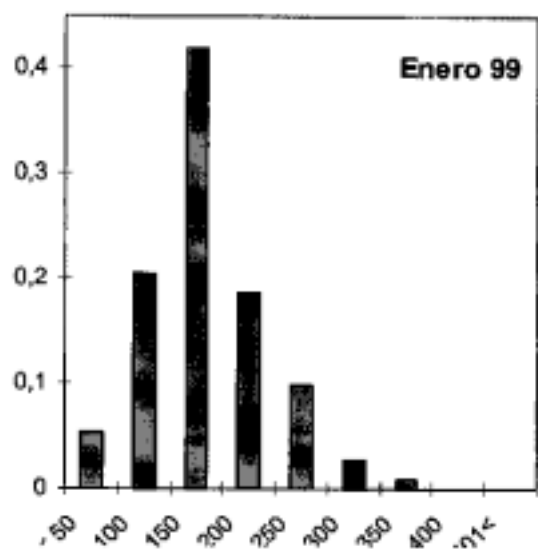
seco m<sup>2</sup>). Es evidente de los datos ambientales y de biomasas que la disponibilidad de nutrientes junto a la irradiación y temperatura favorecen el crecimiento de *Gracilaria cornea* durante esta época. Estos resultados y las bajos crecimientos registrados durante la época de nortes ponen de manifiesto que la mejor época para el cultivo de esta especie en la costa del estado (Dzilam) es de mayo a septiembre. No obstante lo anterior y debido a que para iniciar el cultivo se requiere de material de poblaciones naturales que sirva de semilla para el cultivo, sugerimos que el cultivo comience dos meses antes, es decir, marzo para que tengamos tiempo de preparar los sistemas y los inóculos necesarios.



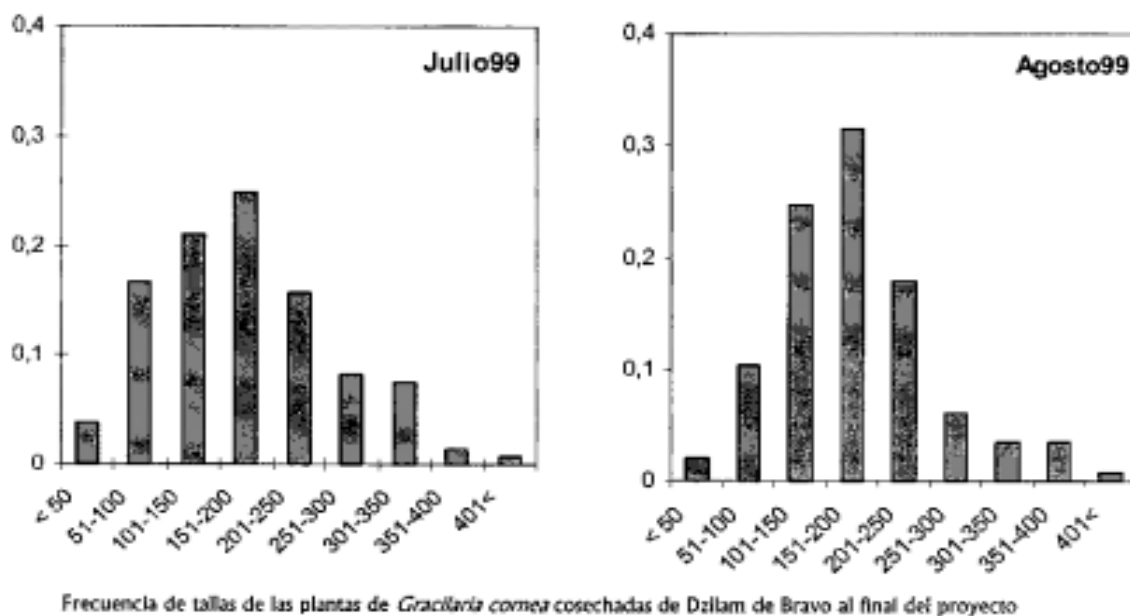
Frecuencia de tallas de las plantas de *Gracilaria cornea* cosechadas de Dzilam de Bravo para Junio a Diciembre 1998.

El eje X representa las tallas en milímetros (mm), el eje Y representa el porcentaje (%). Octubre dato faltante = Misch.





Frecuencia de tallas de las plantas de *Gracilaria cornea* cosechadas de Dzilam de Bravo para Enero a Junio 1999. El eje X representa las tallas en milímetros (mm), el eje Y representa el porcentaje (%).



Frecuencia de tallas de las plantas de *Gracilaria cornea* cosechadas de Dzilam de Bravo para Enero a

Junio 1999. El eje X representa las tallas en milímetros (mm), el eje Y representa el porcentaje (%).

Por otro lado hay una distribución normal en cuanto a las tallas de las plantas de junio 1998 a julio 1999, indicando que la presencia de plantas con tallas mayores a 10 cm es común a lo largo del año, predominando las tallas mayores a 15 cm en los meses de mejor crecimiento. Entre un 30-40% de la población se mantiene entre los 15 a 20 cm de longitud y éstas talla se van desplazando a lo largo del año con las mayores tallas para julio (> 40% de la población tiene una longitud entre 15-20 cm). Esto se relaciona directamente con las condiciones óptimas ambientales para el crecimiento de las plantas. Excepcionalmente se observaron tallas de 40 cm en el mes de enero. Las tallas mayores a 35 cm representan porcentajes menores del 5%, lo mismo se hace evidente para las tallas menores a 5 cm (reclutas) salvo para los meses de septiembre y noviembre.

En cuanto al estado reproductivo de la población tenemos que el porcentaje de plantas es mayor para el material tetrasporofítico ideal para el cultivo. Por un lado, estas plantas junto a las carposporofitas son las que generan tejido reproductivo carposporas y tetrasporas, mismas que pueden servir de semillero durante el esporo-cultivo. Mientras que los estadios no reproductivos o infértiles como los gametofitos 🍄 y el material vegetativo

sirven como biomasa para inocular sistemas de propagación vegetativa, siendo este último tipo de material mucho más abundante. En particular las fases vegetativas tienen mucho potencial de crecimiento pues no emplean energía en formar tejidos reproductivos. El mayor porcentaje a lo largo del año desde abril de 1998 está representado por el material tetrasporofítico incrementándose a lo largo del año coincidiendo con la época de mayor biomasa, y con una tendencia ascendente desde > 30% hasta cerca del 60% en enero 1999. El segundo lugar está representado por el material vegetativo con una mayor abundancia en los meses de septiembre a octubre (>30%) mientras el resto del año se mantiene entre el 10-20%. La población reproductiva más estudiada para ser utilizada como semillero, carposporofitas, (Guzmán-Uriostegui y Robledo 1999), tiene porcentajes muy bajos de la población a lo largo del año, salvo para septiembre - octubre 1998 y enero 1999 (>10%). Lo anterior aunado a la presencia a lo largo del año de plantas tetrasporofíticas entre el 10-40% nos lleva a plantear la posible utilización de tetrasporas como material para inocular cuerdas. Una vez implementado el sistema de propagación por medio de esporas, se podrá iniciar hibridación entre diferentes variedades y cepas, seleccionando el material que presente buenas tasas de crecimiento y comportamiento en los sistemas de cultivo empleados, así como los mejores niveles de rendimiento y calidad de agar. Este material propagado a partir de esporas podrá ser estudiado para determinar si existen diferencias significativas con el material proveniente de los cultivos clonales o vegetativos en lo que respecta a los valores de crecimiento en los diferentes sistemas de cultivo, calidad y composición del agar. El Esporo-cultivo se puede realizar en las mismas zonas de cultivo empleadas para sistemas de propagación vegetativa por lo que las actividades de cosecha, secado y tratamiento post-cosecha son las mismas. Los insumos para las operaciones de las granjas son prácticamente los mismos, a excepción de los materiales y equipos descritos para el desarrollo de los implantes en el laboratorio.

### **EL AGAR SOMETIDO A DIFERENTES CONDICIONES DE CULTIVO**

Durante la evaluación del material cultivado *versus* el material natural (colectado de una pradera), se observa un incremento en el rendimiento (% agar), fuerza de gel ( $\text{g cm}^{-2}$ ), y sulfatos (%). Los tratamientos fueron cultivadas+oscuridad, cultivadas + tratamiento 4/4, cultivadas + tratamiento 8/5, naturales tratadas 4/4. En el caso del rendimiento podemos observar que independientemente del origen y tratamiento el contenido de agar se encuentra por encima del 30% por kg de alga seca. Este valor es bastante alto y se encuentra entre los rangos requeridos para la industria. Hay una diferencia significativa entre las algas de cultivo y las del medio natural (época 1) siendo ligeramente menores las de cultivo. No obstante el mejor rendimiento se obtuvo para las algas de cultivo con un tratamiento 4/4, con valores cercanos al 45%. Esto nos indica

que si bien se pueden encontrar rendimientos de agar más bajos en el material cultivado, mediante un tratamiento llevado a cabo durante el cultivo, este rendimiento se puede aumentar significativamente revirtiendo su diferencia con respecto al material de poblaciones naturales. El mismo efecto se ve reflejado en la fuerza de gel del agar extraído, parámetro que como hemos señalado en informes anteriores es el que indica la calidad del agar. Las fuerzas de gel si tratar más altas se obtuvieron en el material cultivado y con tratamiento 4/4 con valores entre 200- 250 g cm<sup>-2</sup>. Cabe señalar que nos estamos refiriendo a un agar nativo, es decir sin tratamiento alcalino, de ahí que las fuerzas de gel sean menores a las reportadas en nuestros estudios anteriores (1,700 g cm<sup>-2</sup>). Esta relación entre el aumento de la fuerza de gel en el material cultivado se relaciona directamente con la disminución de la cantidad de sulfatos en el agar, tal como lo observamos para los tratamientos señalados. El menor contenido de sulfatos se observa invariablemente en el material cultivado y tratado (oscuridad, 4/4, 8/5). Estos resultados son importantes desde el punto de vista de la utilización de la biomasa para la extracción de agar, objetivo final del cultivo, ya que las características del mismo se pueden modificar con tratamientos simples que se pueden implementar durante el cultivo. A nivel de laboratorio y experimental existen trabajos realizados con *Gracilaria*, donde se reportan la obtención de variedades adaptadas a diferentes temperaturas, con un mayor contenido de agar de hasta un 40% en comparación con las cepas silvestres (Levy *et al.*, 1990) y de pigmentos (Van der Meer, 1978; Van der Meer & Bird, 1977). Lignell & Pedersén (1989) realizan un estudio exhaustivo a nivel de laboratorio sobre la composición de agar como función en la morfología y la productividad de diferentes variedades de dos especies de *Gracilaria*. En este último trabajo, las variedades estudiadas fueron obtenidas a partir de cepas silvestres sometidas a condiciones controladas de cultivo en sistemas cerrados y de laboratorio.

Es importante señalar la plasticidad fenotípica de este grupo de rodofíceas, en particular las pertenecientes al orden Gracilariales. Existe un considerable número de publicaciones donde se reportan las características reológicas y fisiológicas de diversas variedades, haciendo de algunas de ellas cepas ideales para el cultivo comercial y la producción de agar, el cual sigue siendo el principal insumo obtenido de ese grupo de algas. Sin embargo, varios trabajos señalan que la síntesis y la calidad del agar producido por *Gracilaria* dependen tanto de la cepa (Nelson *et al.*, 1983; Yaphe, 1984; Lahaye *et al.*, 1988) como de las condiciones físico-químicas (DeBoer, 1978; Bird *et al.*, 1981; Craigie & Wen, 1984; Friedlander *et al.*, 1987) y de la estacionalidad (Hoyle, 1978; Oza, 1978; Asare, 1980).

El rendimiento, la síntesis y las características del agar producido por Gracilariales dependen de varios factores como la especie (Nelson *et al.*, 1983; Yaphe, 1984; Lahaye *et al.*, 1988) y las variaciones ambientales causadas por la estacionalidad (Hoyle, 1978; Oza, 1978; Asare, 1980; Bird, 1988; Racca *et al.*, 1993). *Gracilaria* cultivada bajo diversos sistemas ha mostrado diferencias significativas en la composición del agar debido a los cambios en las condiciones de crecimiento y nutrientes (DeBoer, 1978, Bird *et al.*, 1981; Craigie & Wen, 1984; Friedlander *et al.*, 1987; Ekman, 1991; Ekman *et al.*, 1991; Ugarte & Santelices, 1992; Pickering *et al.*, 1993). En general, agar de buena calidad han sido extraídos de *Gracilaria* en ambientes con altos niveles de nutrientes e iluminación, reflejados en la fuerza de gel, mientras que el rendimiento es inversamente proporcional a estas condiciones.

Producción de *Gracilaria* a nivel mundial. Principales países productores indicando su producción total anual en peso humedo y seco (toneladas métricas), incluye cosecha de poblaciones naturales y cultivo. Se indica su valor F.O.B. total en dólares americanos.

<b>Gracilaria</b>	Peso seco (tm)	Peso humedo (tm)	Cultivadas (ton)	Valor (USD\$)
China	3000	15000	3000	\$4'200,000
Vietnam	2000	10000	10000	\$2'800,000
Tailandia	200	1000	1000	\$280,000
India	215	1075	0	\$301,000
Chile	117619	588095	294048	\$164'666,600
Argentina	3061	15304	0	\$4'285,120
Sudáfrica	375	1875	0	\$525,000
Indonesia	13447	67235	67235	\$18'825,800

Precio (dólares americanos) por kilogramo de *Gracilaria* seca pagado en distintos países productores para la extracción de agar. La diferencia se debe a la calidad y/o al uso final.

País	1998	1999
Corea	7.09	7.01
Vietnam	1.33	
Singapur	2	
Malasia	0.75	
Filipinas	2.67	
Indonesia	1	
Srilanka	1.75	
Turquía	1.25	
EEUU	1.83	
México	1.5*	
Chile	3.25	3
Brasil	5	
Marruecos	2.17	
Namibia	1.42	
Sudáfrica	1.92	

\* De cultivo experimental.

## IMPACTO SOCIOECONÓMICO DEL CULTIVO DE ALGAS MARINAS

✂ Situación socioeconómica de la costa norte de la Península de Yucatán: La Península de Yucatán es una de región donde la población vive en condiciones de pobreza y con un alto índice de desempleo. Excluyendo la pesca artesanal y de subsistencia, se agregan los cultivos incipientes a nivel de huertos familiares como las únicas fuentes de trabajo. En algunos casos la falta de servicios generales como vialidad, electricidad y agua potable acentúan aún más esta situación. Por otro lado, la explotación de las salinas costeras y la pesca artesanal han sido los únicos recursos sustentables desde períodos de la Colonia y por tanto las principales fuentes de trabajos de las poblaciones costeras en Yucatán. La búsqueda de mejores condiciones de vida y empleo generan un constante éxodo hacia las poblaciones de Mérida y Cancún, ya que los sistemas y artes de pesca actuales no se adaptan a los volúmenes necesarios para lograr subsistir.

✂ Alternativas de desarrollo a través de la maricultura de algas: Debido a fenómenos estacionales de nutrientes, corrientes y vientos, así como a la batimetría de la costa, la Península de Yucatán posee

una gran riqueza en los recursos marinos, siendo las algas productoras de coloides uno de los rubros con mayor potencial de desarrollo. Los ensayos de maricultura de macroalgas han logrado en cierta forma aprovechar la productividad de las aguas en esta región del país, contribuyendo además con aportes considerables de oxígeno disuelto en los micro-ambientes donde se realizan los cultivos, aumentando por tanto los niveles de producción en la cadena trófica (i.e. crustáceos, peces, etc.). Esto crea un ambiente propicio para la introducción de otros cultivos en mar abierto como lo son ostiones y peces.

- ✂ Impacto socioeconómico de los cultivos de *Gracilaria* en la población local: Serias dificultades han de ser sorteadas en el desarrollo de los cultivos. Desde su fase inicial el problema social más relevante ha sido sin lugar a dudas el de la integración de una comunidad pesquera a esta novedosa actividad, sobre todo si tomamos en cuenta que en la península de Yucatán no existe ningún precedente en lo que se refiere al aprovechamiento de las algas marinas, conocidas localmente como "sargazo", y consideradas como un desecho o basura sin ninguna utilidad. El proceso evolutivo de la comunidad local, en particular en las poblaciones de Dzilam varió desde una actitud de rechazo hasta alcanzar niveles de curiosidad e interés. Sin embargo, esto necesita tiempo y debe por tanto consolidarse en el tiempo a través de programas sustentables de participación de las comunidades vecinas, en particular de los ribereños y más aún aprovechar la excelente receptividad demostrada por las autoridades locales (SEMARNAP) para instruir al personal que desee explorar las actividades laborales relacionadas al cultivo de algas.
- ✂ La mujer en los cultivos de algas: De particular importancia es la participación de la mujer en los cultivos de algas. Su capacidad de aprendizaje y disposición al trabajo la colocada al mismo nivel del hombre dentro del grupo familiar, en cuanto a la fuerza productiva. El paso de ama de casa al de cultivadora podría traer cambios en la estructura organizacional de la familia, redundando también en beneficios económicos, ya que la mujer podría aportar ingresos que contribuyeran al bienestar del hogar, haciéndola más independiente social y económicamente.
- ✂ Potencial de desarrollo de la maricultura de algas: El cultivo de *Gracilaria* es la primera experiencia de maricultura en Yucatán, y si conjugamos las condiciones físico-químicas, climatológicas y ambientales, se debe además aprovechar el interés actual de los pobladores de esa región para tratar de implementar programas de desarrollo sostenibles que permitan mejorar las condiciones de vida en estas comunidades. En vista de que los resultados obtenidos en este trabajo sólo incluyen la parte técnico-biológica del cultivo de algas, se hace necesario un estudio más detallado del impacto social, donde se haga énfasis en la estructura organizacional de las comunidades, la calidad de vida (educación, condiciones de vivienda, presupuesto familiar, etc.), la capacidad organizativa y de auto gestión comunitaria, percepción del medio ambiente y conductas colectivas.

El resultado de este estudio permitirá formular estrategias para el desarrollo integral de la primera etapa del programa de cultivo intensivo de algas marinas, incluyendo la formación de micro-empresas, cooperativas y/o asociaciones de productores.



## CONCLUSIONES

A pesar de que en algunos países de América Latina como Chile, México, Perú, Brasil y Argentina el desarrollo de la industria y explotación de algas agarofitas lleva ya varias décadas, el resto de la región se encuentra en su fase preliminar, bien sea a través de la implementación de programas pilotos de cultivo o de evaluaciones y estudios de los recursos algales existentes. Sin duda alguna que la región presenta un enorme potencial para establecer esta industria, contribuyendo actualmente con un 17% de la producción mundial de coloides de los cuales un 37% proveniente de las algas rojas para elaboración de agar y carragenato (Zertuche, 1993)

El mejor ejemplo lo podemos ver en Chile, quién es el principal productor de *Gracilaria* y Agar del mundo. Actualmente la industria de Agar chilena se ha consolidado luego de haber superado la crisis que originó la caída del bloque socialista y la desintegración de la URSS a principios de esta década, lo cual trajo como consecuencia el cierre de numerosas fábricas que se vieron en la necesidad de rematar sus estoques de materia prima, saturando de esta forma el mercado internacional de agarofitas. Chile logra superar esta crisis al evitar inundar el mercado con agar barato con ayuda de los oligopolios, elaborando al mismo tiempo un Agar alimenticio de óptima calidad. La exportación de la *Gracilaria* chilena, según el Instituto de Fomento Pesquero de ese país (IFOP) en 1993 fue de 20,142 TM a con un valor F.O.B. aproximado de US\$1,384/TM. El precio pagado por los productores locales fue entre US\$ 600-1600, dependiendo de la fuerza de gel. Por otra parte, el año pasado la industria chilena produjo 1,635 TM de Agar valorado en US\$ 27,663/TM, contribuyendo de esta forma con el 50% de la producción mundial de esa agarofita. En lo relacionado con el desarrollo de los cultivos, vale la pena destacar que toda la producción inicial de *Gracilaria* desde hace más de 20 años provenía de las praderas naturales que en sus inicios eran las mayores del mundo, con densidades hasta 14 Kg./m<sup>2</sup>. (Santelices & Doty (1989). La sobre explotación de estos bancos creó pérdidas y daños ecológicos irreparables. Ha sido sólo en los últimos 5 años que se ha visto un repunte en la producción chilena luego de la implementación de los cultivos, logrando actualmente producir más del 87% de su materia prima a través de programas comerciales de maricultivo, la mayoría a cargo de la empresa privada, y en algunas partes de la región sur (particularmente la isla de Chiloé) por medio de cooperativas de algueros que anteriormente se dedicaban la explotación de los bancos naturales.

El cultivo comercial de algas marinas y en particular de *Gracilaria* ha generado una serie de trabajos importantes sobre la selección de cepas y variedades de calidad superior, manifestada tanto en la calidad y contenido de agar, como en la productividad y adaptación a los sistemas de cultivos empleados. La mayoría de estas variedades se han obtenido a partir de propagaciones vegetativas o crecimientos clonales. Se destacan los trabajos de Patwary & Van der Meer (1982, 1983, a, b, c); Lignell & Pedersén (1989); Levy *et al.* (1990); Bird (1988) y Craigie *et al.* (1984) entre otros.

La mayoría de las variedades son obtenidas a través de mutaciones de punto en los ápices de los talos. Una buena parte de los estudios poblacionales sobre variedades de algas se han enfocado a partir de las diferencias inter-poblacionales o inter-específicas. Con esto se ha tratado de entender la plasticidad fenotípica regularmente reportada en poblaciones algales. Por otra parte, muchos grupos de macroalgas, incluyendo las Gracilariales crecen y se propagan a través de fragmentaciones de individuos genéticamente idénticos, siendo cada uno capaz de funcionar independientemente. Existen bancos naturales de *Gracilaria* donde no se han reportado fases reproductivas como es el caso de las praderas de Saldahana Bay en Sudáfrica y de la bahía de Lüderitz en Namibia (Critchley, com. pers.), sin embargo ambas poblaciones registran variaciones estacionales en la tasas de productividad, así como en el contenido y calidad del agar sintetizado. Lignell & Pedersén (1989) reportan a nivel de laboratorio, propagaciones exclusivamente a través de crecimientos clonales o vegetativos en dos especies de *Gracilaria*: *G. secundata* y *G. verrucosa*, obteniendo 6 variedades que muestran diferencias significativas en su morfología y pigmentación, existiendo además una relación directa entre el contenido y composición del agar producido con una mayor productividad entre las cepas obtenidas.


En sistemas comerciales de países como Chile, Taiwán, Filipinas y China, donde se aprovecha el fondo marino como substrato. En todas estas experiencias, el cultivo fue producto de la sobre-explotación de los praderas naturales. En el caso de Chile, se lograron extraer hasta 113,000 TM de *Gracilaria* en 1985, con aproximadamente unas 12,000 personas involucradas, teniendo finalmente como consecuencia una disminución en la producción. Las primeras experiencias de cultivo estuvieron orientadas a crear nuevos bancos naturales. En estos experimentos, las algas fueron amarradas a piedras y redes, las cuales eran ancladas al fondo para permitir su crecimiento en el substrato. Actualmente se producen unas 60,000 TM a partir de los sistemas de cultivo de fondo, las cuales representan un 87% del desembarque total de *Gracilaria* seca reportado en ese país (IFOP, 1994).

Todo esto ha generado un sin número de trabajos y experiencias que nos permitirán adaptar las tecnologías ya consolidadas en países con económicas y

idiosincrasias tan similares a las nuestras como es el caso de Chile, a pesar de que las condiciones del medio natural son diferentes. Dentro de las principales ventajas que proporciona el sistema de cultivo submareal se destacan:

- Reducción de los costos de producción (gastos de inversión)
- Mayor aprovechamiento de las áreas de cultivo (Desarrollo de granjas en diversos substratos y profundidades, muchas de ellas distintas a los empleados en los sistemas suspendidos).
- Disminución de posibles conflictos de uso de área (pescadores artesanales, ribereños, desarrollos turísticos, etc.)
- Creación de nuevos nichos ecológicos, incluyendo sitios de refugio de juveniles de peces y crustáceos, los cuales se ven afectados por el uso de artes de pesca artesanal inadecuadas (trenes de arrastres y redes).

### RECOMENDACIONES

 **Análisis físico-químicos:** Dentro de los principales parámetros que afectan directamente el desarrollo de los cultivos por lo que se deben registrar periódicamente se destacan: Luz, temperatura, salinidad, corrientes, mareas, vientos y nutrientes (principalmente N & P).

**LUZ Y FOTOSÍNTESIS:** Es un de los factores más importantes que condicionan la vida de todas las plantas. La luz proporciona la energía necesaria para la fotosíntesis, uno de los principales procesos metabólicos de las algas. Una buena parte de la radiación que penetra al mar se pierde al descomponerse el espectro solar, acentuándose los niveles de luz verde-azul (400-600 nm) en los primeros 25 m de profundidad. Debido a la dinámica de corrientes y vientos, la penetración y disponibilidad de luz en las costas de la Península de Yucatán es otro factor determinante en la productividad de los cultivos de algas marinas, influenciando además la estructura y composición de los bancos naturales. Altos niveles de productividad se pueden registrar en los sistemas suspendidos debido a la disponibilidad de luz en la superficie. Se desconoce lo que ocurre con el material que crece en el fondo, el cual se ve afectado aún más por la cantidad y calidad de luz, particularmente en los períodos de mayor turbiedad. La medición de la fotosíntesis, a través de la evolución de oxígeno es la forma más directa de conocer los niveles óptimos de producción, así como la adaptabilidad y comportamiento del alga frente a cualquier factor ambiental (*i.e.* intensidad de luz, temperatura, salinidad, nutrientes, etc.)

**TRANSPARENCIA:** Tanto la transparencia como la calidad de la luz son parámetros fundamentales que deben registrarse periódicamente en los cultivos y zonas de desarrollo potencial. Para ello es necesario de disponer de un DISCO SECCHI, el

cual mide de manera muy simple la transparencia de la columna de agua. El disco secchi es un disco de color blanco de 30 cm de diámetro con un lastre que se lanza al agua atado a una cuerda. La transparencia se mide calculando la profundidad hasta donde se alcanza ver al disco, obteniendo el coeficiente de extinción (K) al dividir  $1.7/\text{profundidad secchi}$ .

**INTENSIDAD** La intensidad se puede medir de diferentes formas, sin embargo para términos de productividad, la radiación fotosintética activa (PAR) es la más importante por que registra la cantidad de luz en el espectro que es aprovechado por las plantas en la fotosíntesis (400-750 nm) y se expresa en fotones o  $\mu\text{moles. m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$ . Para esto se emplea un radiómetro con un sensor sumergible de manera de poder registrar los valores a varias profundidades. (tipo LI-Cor).

**TEMPERATURA:** Ambos valores de temperatura, tanto del aire como del agua son necesarios para determinar entre otras cosas, la presencia de surgencia o afloramiento, lo cual está estrechamente vinculado con los niveles de productividad. Termómetros de mercurio son comúnmente empleados para registrar los valores en la superficies y hasta ciertas profundidades. Para este programa es fundamental disponer de un termómetro con una camisa o protector de metal. Dentro del programa de muestreo se deben incluir los registros periódicos de temperatura y sus variaciones estacionales relacionadas directamente con los niveles de productividad.

**SALINIDAD:** A pesar de que las zonas seleccionadas para los ensayos del sistema de fondo, como donde actualmente se desarrollan los cultivos comerciales en estructuras flotantes poseen valores de salinidad marina (32-35 ppm), es importante registrar las variaciones ocurridas durante el año, particularmente en el período de lluvias, donde la contribución estas sea considerable. *Gracilaria* en diferentes partes del mundo ha demostrado ser una especie eurihalina, con un rango de tolerancia bastante amplio (2-45 ppm). *G. cornea* sin embargo ha sido descrita como una especie oceánica con poca resistencia a bajas salinidades < 20 ppm (Dawes, Orduña y Robledo, 1998). Un refractómetro es un instrumento ideal para realizar estos registros.

**VIENTOS; CORRIENTES Y MAREAS:** Todos estos parámetros son muy importantes para determinar la factibilidad de un lugar para el maricultivo de algas, debido a que en parte condiciona los recambios de agua y por tanto los niveles de productividad, particularmente en zonas más pobres, donde los valores de nutrientes son menores, pero que debido a estas fluctuaciones es posible alcanzar buenas tasas de crecimiento. *Gracilaria* posee una excelente capacidad para absorber nutrientes a bajos niveles en lugares con buena circulación. Por otra parte, aquellas zonas con corrientes muy fuertes han limitado hasta ahora el desarrollo de los sistemas

suspendidos, pero pueden sin embargo ser lugares ideales para el cultivo submareal de fondo. De cualquier forma, es importante llevar un registro adecuado de estos parámetros para luego establecer relaciones con los niveles de productividad, permitiendo evaluar mejor los sitios, sistemas y técnicas seleccionadas para eventuales desarrollos comerciales. Un correntómetro de pantalla, un mareógrafo y un anemómetro son los aparatos necesarios para tomar estos registros de forma periódica.

**NUTRIENTES:** Las formas inorgánicas de carbono, nitrógeno y fósforo (C, N & P) son los principales macro nutrientes que condicionan la productividad y las actividades metabólicas de todos los organismos, esenciales para la síntesis de aminoácidos, respiración celular y adicionalmente en el caso de las plantas, la fotosíntesis. Su disponibilidad y abundancia en el ecosistema marino determinan la existencia y posibilidades de desarrollo de los productores primarios y por ende del resto de los miembros de la comunidad trófica. Este balance está condicionado muchas veces por las corrientes, aporte de los ríos, precipitaciones, fenómenos de surgencia (afloramiento) y niveles de eutrofización humana (*i.e.* descargas domésticas e industriales). Es por esto que es necesario llevar un registro de estos valores, principalmente del nitrógeno, en las formas de nitrito, nitrato y amoníaco, así como de los fosfatos disueltos en el agua de mar. Los valores periódicos se pueden determinar por medio de la recolección de muestras de agua en varias profundidades y localidades para luego ser procesadas en el laboratorio con el apoyo análisis de agua de mar.

## PROPUESTAS PARA LA COMUNIDAD

### Opción 1: Propagación vegetativa

Número de especies a cultivar: DOS: *Gracilariopsis tenuifrons* Bird et De Oliveira, *Gracilaria cornea* J. Agardh

Metodología: La metodología de siembra de las especies se realizará a través de la propagación vegetativa o clonal, mediante algunas de las siguientes técnicas

- Sistema de Monolínea: Atando talos estériles de algas en cuerdas de polipropileno, las cuales a su vez serán unidas a estacas de madera ancladas en el fondo
- Sistema Suspendido: Atando talos estériles de algas en cuerdas de polipropileno, las cuales a su vez serán unidas a estructuras flotantes de cuerdas de mayor diámetro, y fijadas al substrato por medio de anclas.

El sistema contará con estructuras de flotación para mantener las líneas a nivel del agua.

Materiales e Insumos: A continuación se presenta la lista de los materiales e insumos necesarios para la instalación de las granjas marinas: Estructuras de cultivo: Sistema de monolínea; área de siembra 1 HA; total módulos: 40 de 250 m<sup>2</sup> (25 x 10); cada módulo de 50 monolínea de 10 m (5 x 2), separadas 0.50 m

Ítem	Cantidad
Cuerdas de polipropileno #3	550 m x módulo: 22,000 m/HA, Vida útil: 3 años
Rafia (0.20 m c/u)	400 m x módulo: 16,000 m/HA, 9 x año, total: 96,000 m/año
Estacas de madera (0.7 m c/u)	150 x módulo: 6,000 x 2 año: 12,000/HA/año

#### **Area de siembra y secado :**

Ítem	Cantidad
Secaderos solares	6 de 60 m <sup>2</sup> (30 x 2)
Depósito de materiales	1 de 50 m <sup>2</sup> (5 x 10)
Tanques de cemento (encordado de algas)	2 de 5.04 m <sup>3</sup> (3.5 x 1.2 x 1.2)

Implementos de trabajo necesarios para la instalación y operación de una granja de algas empleando el sistema de fondo (monolínea de cuerdas y estacas). No se incluye flete de traslado de los materiales.

Ítem	Cantidad
Malla de captura de algas	45 m de largo (10 m/Kg.)
Semillero de malla	4 Kg. (4 m <sup>2</sup> )
Barras metálica de perforación	2 de 1 m de largo
Mandarrias	2 de 5 Kg.
Máscaras de buceo	4
Cuchillos	4
Machetes	2
Balanza	1
Cestas flotantes de mimbre o plástico	4 de 0.5 m diámetro x 2 año
Sacos de polietileno	200 de 50 Kg. x 2 año

#### **Método de Cosecha:**

Las algas se cosechan desprendiendo todo el material de las cuerdas y colocándolo en botes o balsas de madera par luego ser llevadas a tierra firme para su secado. En una rutina diaria de trabajo se colectan aproximadamente 1,000 Kg. de alga húmeda. Se apartan aproximadamente el 20% de la cosecha para los implantes de resembrado.

El material es cosechado cada 30 días durante todo el año y es expuesto al sol para su deshidratación durante un período aproximado de 24 horas. Al término del cual es recogido, limpiado a mano, retirando las impurezas que pueda presentar (otras algas, arena, conchas de mar, piedras, etc.) para finalmente ser embalado en fardos de 50 Kg para su exportación.

Para evitar la propagación de algas en zonas aledañas a los cultivos, se colocan mallas o redes de pesca "tipo filete" al extremo opuesto de la granja (sentido de la corriente) para recolectar el material que normalmente se desprende de los cultivos, el cual se lleva a tierra para secarlo evitando de esta forma la dispersión de fragmentos vegetativos. Esto se realiza en jornadas inter diarias, donde además se aprovecha la captura de peces comestibles.

El área a ocupar en tierra por cada granja instalada en el mar es de una (1) hectárea, comprendida en la franja marino-costera dentro de los primeros 80

metros de costa. En esta zona, se instalarán secadores solares contruidos de madera (bambú) y malla de polietileno de 60 metros de largo por 2 metros de ancho cada uno. Un total de 6 secaderos, además de una área cubierta de 50 m<sup>2</sup> (5 x 10) donde se realizan las labores de encordado, mantenimiento, preparación de cuerdas y un depósito de materiales. Todas estas infraestructuras son blandas y desarmables cuya construcción va en armonía con el entorno y se realiza con materiales disponibles en la zona. Se emplean troncos y tiras de bambú. Inicialmente se desarrollará un programa piloto de dos (2) meses de duración en cada lugar seleccionado, donde se evaluará el crecimiento y comportamiento de las distintas especies y su relación con las variables ambientales. Posteriormente, se extenderá el área de cultivo, mediante la instalación de unidades piloto adicionales que servirán de semillero a las futuras granjas comerciales. La expansión del área cultivada se hará en forma modular, de acuerdo a la tasa de crecimiento de las algas, lo cual permitirá el desarrollo de los cultivos de una manera armónica con las actividades tradicionales de las comunidades locales.

### Opción 2: Esporo-Cultivo

La metodología de siembra de especies de Gracilariales se realizará a través de la propagación de esporas, incluyendo la posibilidades de realizar ensayos de mejoramiento genético con distintas especies y variedades, aprovechando su alto poder regenerativo.

Número de especies a cultivar: DOS: *Gracilariopsis tenuifrons* Bird et De Oliveira, *Gracilaria cornea* J. Agardh

Metodología: El Esporo-Cultivo consiste en inocular esporas en substratos artificiales como cuerdas de polipropileno, conchas, piedras, etc. para su eventual traslado y propagación en mar abierto. Estos substratos se pueden inocular por medio de la fijación de carposporas o tetrasporas, debido a que son plantas isomórficas (Alveal, 1990).

El proceso de inoculación del substrato requiere de un laboratorio equipado con tanques, agua de mar filtrada y condiciones controladas de temperatura, nutrientes, salinidad, aireación, intensidad de luz y fotoperiodo. Se deben mantener condiciones axénicas durante todo el proceso de inoculación y propagación de esporas para evitar la propagación de otros organismos (*i.e.* epifitas, bacterias, depredadores y competidores).



Una vez seleccionadas las plantas fértiles, éstas son limpiadas y colocadas en tanques que contienen las cuerdas listas para la fijación de las esporas, induciendo la esporulación después de un período de tratamiento de 2 a 3 días. Estos tanques de plásticos de 360, 500 o 900 L son provistos de agua circulante y nutrientes (nitrato de sodio y superfosfato triple, marca comercial Super 60). Los microtalos se hacen crecer en estas cuerdas de polipropileno de 4 mm de diámetro instaladas en marcos de 60 cm de lado construidos con tubos de PVC de media pulgada.

Aproximadamente unos 400 g de *Gracilaria* fértil (cistocárpica) son colocados sobre una estructura dentro del tanque de esporulación con agua de mar filtrada que contiene las cuerdas en los marcos de PVC listas para fijar las esporas liberadas por las plantas madres. Los substratos inoculados se trasladan a tanques de incubación de 150 L con agua filtrada circulante y nutrientes. Después de unas 8-10 semanas, o al alcanzar tallas medias de 0.7 a 1 mm de longitud, se trasladan a mar abierto en los sistemas flotantes y de fondo. Durante este período de crecimiento, la manipulación de los substratos inoculados es crítica, particularmente en lo que respecta a evitar la proliferación de plantas oportunistas y organismos epifitos. La viabilidad del material cultivado, así como las condiciones óptimas del sistema se podrán evaluar por medio de las repuestas fotosintéticas inmediatas y a través del tiempo, midiendo los niveles de intensidad de luz, pH, salinidad, temperatura y nutrientes. La disponibilidad de un aparato medidor de oxígeno disuelto como indicador de la fotosíntesis es esencial para la operación de todo el sistema de propagación de esporas, así como del comportamiento en mar abierto de los implantes, permitiendo realizar estudios comparativos en los niveles de producción y adaptabilidad a los sistemas de cultivo (suspendido y de fondo).

### Opción 3: Cultivo submareal de *Gracilariales*

Para este programa se puede emplear una buena parte de las técnicas de los cultivos comerciales de *Gracilariales* en Chile, siguiendo los métodos descritos por Del Sol & Aguilera (1989); Pizarro & Barrales (1986); Santelices & Doty (1989); Westermier & Rivera (1989), Alveal (1990) e IFOP (1994). Estos cultivos se realizan a partir de propagaciones vegetativas al igual que en los cultivos suspendidos. Entre los métodos de cultivos submareales más comúnmente utilizados se encuentran: Plantado con fundas de fibra; plantado directo con buzos; plantado directo con varas; cultivo en cuerdas y cultivo con "Mata-piedras":

Número de especies a cultivar: DOS: *Gracilaria cornea* J Agardh y *Gracilariopsis tenuifrons* Bird et De Oliveira

Nivel de intensidad del cultivo: INTENSIVO. Se realizarán jornadas de trabajo diarias durante los 12 meses al año, aunque en el período de baja productividad (Octubre Noviembre), las labores de cultivo se adaptarán de acuerdo con el comportamiento de la cepa y de la cantidad de alga cosechada en esos meses.

Para la propagación de estos implantes se emplearán los siguientes sistemas: Plantado con fundas de fibra: En este método se utilizarán fundas de fibra natural biodegradable (*i.e.* sisal, coco) que se rellenan de arena y sirven como substrato de anclaje a las algas. Se utilizan fundas de 1 metro de largo colocando 3 matas de algas separadas equidistantemente, totalizando una biomasa inicial aproximada de 1 Kg. por m<sup>2</sup>. Una vez preparadas estas fundas de fibra, se colocan en el mar en fondos arenosos con profundidades medias de 0.5-3.5 m., a través de buzos quienes generalmente trabajan en jornadas diarias de 6 horas.

Plantado directo con buzos: Manojos de Gracilariales de aproximadamente 200 gr. cada uno se obtienen directamente de los cultivos suspendidos o de una pileta o jaula flotante que sirve como semillero o centro de acopio. Este material es preparado en la playa y transportado en botes para ser sembrado por buzos. La siembra se realiza con la ayuda de una horquilla de metal galvanizado, enterrando el alga unos 20-30 cm en fondos arenosos.

Plantado directo con varas: Para operar con este sistema se necesitan varas de madera (bambú) de 4 metros de largo, colocándose en su extremo una punta metálica bifurcada para efectuar el plantado del alga. Para las faenas de siembra se utiliza una embarcación con tres tripulantes: un bogador y dos plantadores: Una persona coloca el alga en la horquilla y la otra sumerge la vara hasta el fondo, procediendo a plantar el alga en la arena. El bote va moviéndose lentamente en línea recta mientras se realiza el plantado. Es importante señalar que el peso de la vara es de vital importancia en esta operación para lograr una alta eficiencia, con mínimas pérdidas de los implantes, los cuales se realizan cada 50-80 cm. Es recomendable realizar una inmersión de reconocimiento para verificar la siembra.

Plantado con Mata-piedras: El método de siembra con mata-piedras consiste en sujetar con una banda de fibra un manojito de *Gracilaria* de unos 250 gr. a una piedra ovalada de aproximadamente 200 gr. de peso. Esta unidad de cultivo se entierra al fondo arenoso a unos 15-30 cm con la ayuda de una pala). La banda de

fibra no daña el alga y permite que el implante formado se expanda ocupando cada vez mayor superficie. Este trabajo se realiza con buceo autónomo. Tomando en cuenta las características del lugar seleccionado para las parcelas de cultivo, se colecta información sobre la batimetría, dinámica de corrientes, parámetros abióticos, antecedentes históricos de distribución de las algas, etc. Con estos datos se puede determinar la densidad de siembra, la cual generalmente fluctúa entre 1.0 a 1.2 Kg. m<sup>-2</sup>, es decir 4 Mata-piedras. por m<sup>2</sup>. El rendimiento de siembra realizado por 2 buzos es de 500 m<sup>2</sup> por día, siendo las jornadas de buceo de 4 horas diarias 5 veces por semana.

## DATOS IMPORTANTES DURANTE EL CULTIVO DE GRACILARIALES

En cuerdas de 5 mts inocular cada 20 cm plantas de 100 g (densidad final por cuerda 2.5 kg) con revisiones periodicas de la tasa de crecimiento cada 28 días, limpieza y mantenimiento 2 veces por semana. Separacion de las lineas cada ½ metro o menos. Tomar en cuenta los siguientes parametros:

- Temperaturas 23-32°C
- Salinidades 23-38‰ (densimetro 1.010-1.040)
- Marea de rodilla al pecho
- Corrientes en la pleamar con una botella de refresco y una cuerda de 5 m cronometrar tiempo que tarda en derivar la botella <20 cm/s
- Asociaciones pastos y algas *Gracilaria*, *Acanthopora*, *Hypnea*
- Herbivoros (ausencia/presencia)
- Distancia a puerto FOB (free on board)
- Disponibilidad de gente
- Condiciones socioeconómicas de la comunidad
- Desarrollo de otras actividades (pesca, turismo, agricultura)

## POSIBLES ACCIONES GENERADORAS DE IMPACTO

### Medio Físico

Colocación de estructuras sobre los sedimentos

Construcción de instalaciones en tierra

Generación de desechos sólidos orgánicos e inorgánicos

Generación de desechos líquidos orgánicos e inorgánicos

### Medio Biológico

Aporte de materia orgánica adicional al sistema

Incremento en suministro de nutrientes y oxígeno disuelto por productores primarios

Incremento en la disponibilidad de alimento a los herbívoros

Incremento en la disponibilidad de substrato para especies epífitas

### Medio Socioeconómico

Incremento en la oferta de empleo

Incremento en el tráfico de vehículos

Generación de empleo no tradicional

## REFERENCIAS CONSULTADAS

- Abbott, I., 1983. Some species of *Gracilaria* (Rhodophyta) from California. *Taxon* 32 (4): 561-564.
- Aguilar, R., 1982. Identificación y distribución de las algas marinas del Estero de Punta Banda, Baja California, México. *Ciencias Marinas* 8 (1): 78-87.
- Aponte, M. & A.J. Lemus, 1990. Comparative studies of the agar obtained from three species of *Gracilaria* feasible for culture in Venezuela. Proceedings of the Workshop Univ. S Paulo/Int. Foundation for Science "Cultivation of Seaweeds in Latin America" April 2-8, 1989 In: E.C. de Oliveira & N. Kautsky (eds).
- Areces, A. J., 1990. Mariculture of agarophytes: status trends, and perspectives in Cuba Proceedings of the Workshop Univ. S Paulo/Int. Foundation for Science "Cultivation of Seaweeds in Latin America" April 2-8, 1989 In: E.C. de Oliveira & N. Kautsky (eds):105-109.
- Areces, A. J. & N. Céspedes, 1992. Potencialidad productiva de algunas carragenófitas del Indo-Pacífico en aguas del Caribe. *Boletín de la Red Latino Americana de Acuicultura*, Vol. 6 (2): 13-16.
- Areces, A. J. & L. R. Soberats, 1992. Optimización del cultivo *in situ* de *Bryothamnion triquetrum* (Gmelin) Howe, mediante la evaluación de diversos sistemas de sujeción. *Ciencias Marinas*.18 (2): 65-76.
- Armisen, R. & F. Galatas, 1987. Production, properties and uses of agar. In: McHugh, D.J. (ed). Production and utilisation of products from commercial seaweeds. FAO Fish. Tech. pap. (288): 189 p.
- Asare, S. O. 1980. Seasonal changes in sulphate and 3,6-anhidrogalactose content of phycocolloids from two red algae. *Bot. Mar.* 23: 595-598.
- Avila, M. & M. Seguel, 1993. An overview of seaweed resources in Chile. *Journal of Applied Phycology* 5: 133-139.
- Barbaroux, O., R. Perez & J. P. Dreno, 1984. L' algue rouge *Eucheuma spinosum* possibilités d' exploitation et de culture aux Antilles. *Science et Pêche*, Bull. Inst. Pêches marit 348: 2-10.
- Barilotti, D. C. & J.A. Zertuche, 1990. Ecological effects of seaweed harvesting in the Gulf of California and the Pacific Ocean off Baja California and California. *Hydrobiologia* 204/205:35-40.
- Bird, K. T., 1988. Agar production and quality from *Gracilaria* sp. strain G-16: Effects of environmental factors. *Bot. Mar.* 31: 33-39.
- Bird, K.T., M. D. Hanisak & J.H. Ryther, 1981. Chemical study and production of agars extracted from *Gracilaria tikvahiae* grown in different nitrogen enrichment conditions. *Bot. Mar.* 24: 441-444.
- Boraso de Zaixso, A. L., 1984. Crecimiento de *Gracilaria verrucosa* (Gigartinales) en condición suspendida. *Mems. Asoc. Latinoam. Acuicul.*, 5 (3) 415-418.
- Borja, P., F. Espinoza & T. Yap., 1991. Production and market of Philippine Natural Grade Carrageen. *Applied Phycology Forum*, 8 (1): 4-5.
- Câmara-Neto, C., 1982. Cultivo de algas marinas agarófitas no estado do Rio Grande do Norte, SUDENE-UFRN, Natal RN, Brasil
- Colina, A.B., 1976. Studies on the culture of *Eucheuma spinosum*. *Phil. Sci.* 13:48-61.
- Collén, J., Abrahamsson, K., Semesi, A. & Pedersén, M. 1995. Farming and physiology of the red algae *Eucheuma*: Growing commercial importance in East Africa. *Ambio*. 24: 497-501.
- Craigie, J.S. & Z.C. Wen, 1984. Effects of temperature and tissue age on gel strength and composition of agar from *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyceae). *Can. J.Bot.* 62: 1665-1670.
- Craigie, J.S., Z. C. Wen & J. van der Meer, 1984. Interspecific, intraspecific and nutritionally determined variations in the composition of agar from *Gracilaria* spp. *Bot. Mar.* 27:55-61.

- Díaz-Piferrer, M. 1967. Los recursos marinos de Venezuela. Algas de importancia económica. El Farol 29 (222):18-22.
- Díaz-Piferrer, M., 1969. Distribution of the marine benthic flora in the Caribbean Sea. Caribb. J. Sci. 9 (3-4): 151-178.
- DeBoer, J.A., 1978. Effects of nitrogen enrichment on the growth rate and phycocolloid content in *Gracilaria foliifera* and *Neogardiella baileyi* (Floridophyceae). Proc. Int. Seaweed Symp. 9: 263-271.
- Deseda, L. & F. Ortega, 1985. Estadística. Material de apoyo del Instituto Nacional de Andragogía y Universidad Rafael Urdaneta, Caracas, pp. 91-104.
- Doty, M.S., 1973. Farming the red seaweed *Euclidean* for carrageenan. Micronesica 9: 59-73.
- Doty, M. S., 1987. The production and use of *Euclidean*. In: Case studies of seven commercial seaweeds resources. Doty M.S., Cady, J.F. & Santelices, B. (eds) FAO Fish. Tech. Paper, 281: 123-161.
- Duckworth, M. & W. Yaphe, 1971. The structure of agar. Part I. Fractionation of a complex mixture of polysaccharides. Carbohydr. Res., 16: 189-197.
- Eklund, S. & Pettersson, P. 1992. Mwani is money, the development of seaweed farming in Zanzibar and its socio-economics effects in the village of Page: Report from a minor field study. Working paper N° 24, Development Studies Unit, Department of Social Anthropology, Stockholm University, Sweden, 26p.
- Ekman, P. 1991. Physiology and chemical composition of some cultivated seaweeds with emphasis on the agarophyte *Gracilaria sordida* (Gracilariales). Ph.D thesis, Acta Univ. Uppsala. Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science, 312 45 pp. Uppsala, Sweden.
- Ekman, P., S. Yu & M. Pedersén, 1991. Effects of altered salinity, darkness and algal nutrient status on floridoside and starch content,  $\alpha$ -galactosidase activity and agar yield of cultivated *Gracilaria sordida*. Br. Phycol. J. 26: 123-131.
- Friedlander, M., R. Shalev, T. Ganor, S. Strimling, A. Ben-Amotz, H. Klar & Y. Wax, 1987. Seasonal fluctuation of growth rate and chemical composition of *Gracilaria cf. conferta* in outdoor culture in Israel. Hydrobiologia 151/152: 501-507.
- FAO-UNDP, 1987. The possibilities and invest potential of seafarming in Indonesia. II. Seaweed culture. Seafarming Development Project. INS/81/008. Technical paper N° 4. 41p.
- Ferraz-Reyes, E. 1987. Productividad primaria del Golfo de Cariaco, Venezuela. . Bol. Inst. Oceanograf. (Cumaná). 26 (1 & 2):97-110.
- Foldast, E. 1980. Estudio de la variación de agar en *Gracilaria debilis*, *Gracilaria dominguensis* y *Gelidiella acerosa* (periodicidades) y los preparativos para la exportación de dichas algas (manejo de poblaciones y material cortado (Reporte no publicado). Proyecto CONCIT-UCV, Caracas Venezuela.
- Ganesan, E. K. 1989. A catalogue for benthic marine algae and seagrasses of Venezuela. Fondo Editorial CONICIT. 239 p. 15 lam.
- Ganesan, E.K. & Lemus, A.J. 1984. Las algas marinas como un recurso natural aprovechable. Univ. Oriente Bol. Inform. N° 106. 17p. Cumaná Venezuela
- Guisley, K. B. 1970. The relationship between methoxyl content and gelling temperature of agarose. Carbohydr. Res. 16: 232-234.
- Guzmán del Proó, S. A., M. Casas, A. Díaz Carrillo, M. L. Díaz López, J. Pineda & M. E: Sánchez Rodríguez, 1986. Diagnóstico sobre las investigaciones y explotación de las algas marinas en México. Investigaciones Marinas CICIMAR Vol. 3 (II): 63 pp.
- Hill, R. 1982. Metodología básica en Servicio Social. Editorial Humanitas, Buenos Aires.

- Hoyle, M. D., 1978. Agar yield in two *Gracilaria* species (*G. bursapastoris* (Gmelin) Silva and *G. coronopifolia* J. Agardh. from Hawaii. II. Seasonal aspects. Bot. Mar. 21: 347-352.
- IFOP, 1990. Sub-sistema mercado, año 1988-1989. Principales indicadores, pesquerías bentónicas y cultivos. Diagnóstico de las principales pesquerías nacionales. CORFO-IFOP. 65p.
- IFOP, 1994. Estado de la situación y perspectivas de la Acuicultura en Chile. CORFO-IFOP. 169 p.
- Knutsen, S.H. 1992. Isolation and analysis of red algal galactans. Ph.D. thesis Department of Chemistry & Laboratory of Biotechnology, University of Trondheim, Norway 97 pp.
- Lahaye, M., C. Rochas & W. Yaphe, 1986. A new procedure for determining the heterogeneity of agar polymers in the cell wall of *Gracilaria* spp. (Gracilariaceae, Rhodophyta). Can. J. Bot. 64: 579-585.
- Lahaye, M., J.F. Revol, C. Rochas, J. McLachlan & W. Yaphe, 1988. The chemical structure of *Gracilaria crassisima* P. et H. Crouan in Schramm et Mazé and *G. tikvahiae* McLachlan (Gigartinales, Rhodophyta) cell wall polysaccharides. Bot. Mar. 31: 491-501.
- Lemus, A.J., 1970. La flora macrobentónica y algunos parámetros físico-químicos de Cariaco. Lagena (25-26):3-11. fig. 1-2. Tab. 1.
- Lemus, A.J., 1987. Las algas marinas del Golfo de Paria. II Rhodophyta. Bol. Inst. Oceanograf. (Cumaná) 57 p. 139 figs.
- Levy, I., S. Beer & M. Friedlander, 1990. Strain selection in *Gracilaria* spp. 2. Selection for high and low temperature resistance in *G. verrucosa* sporelings. J. App. Phycol. 2:163-171.
- Lignell, Å. & M. Pedersén, 1989. Agar composition as a function of morphology and growth rate. Studies on some morphological strains of *Gracilaria secundata* and *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyta) Bot. Mar. 32:219-227.
- Llana, E. G., 1991. Production and utilisation of commercial seaweeds in The Philippines. Infofish 1: 12-17.
- Milá de la Roca, N. 1984. Rasgos característicos del proceso de crecimiento y distribución espacial de la población Venezolana. Departamento de publicaciones de la Universidad de Oriente, Cumaná. 57p.
- Murano, E., R. Toffanin, F. Zanetti, S.H. Knutsen, S. Paoletti & R. Rizzo, 1992. Chemical and macromolecular characterisation of agar polymers from *Gracilaria dura* (C. Agardh) J. Agardh (Gracilariaceae, Rhodophyta). Carbohydrate Polymers 18:171-178.
- Navarro, K. & J. Ríos, 1988. Diagnóstico socioeconómico de la comunidad pesquera-artesanal de Guamache Melo. Informe de pasantía, Universidad de Oriente, Edo. Sucre. 122p
- Nelson, S. G., S. S. Yang, C. Y. Wang & Y.M. Chiang, 1983. Yield and quality of agar from species of *Gracilaria* (Rhodophyta) collected from Taiwan and Micronesia. Bot. Mar. 26: 361-366.
- Okuda, T., 1982. Rate of water removal and phosphate input in the Gulf of Cariaco, Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Venez. Univ. Oriente 21 (1-2): 3-12.
- Oza, R. M., 1978. Studies on Indian *Gracilaria*. IV. Seasonal variation in agar and gel strength of *Gracilaria corticata* J. Ag. occurring of the coast of Veraval. Bot. Mar. 21: 165-167.
- Patwary, M. V. & J. P. Van der Meer, 1982. Genetics of *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta) VIII. Phenotypic and genetic characterisation of some selected morphological mutants. Can. J. Bot. 60: 2556-2564.
- Patwary, M. V. & J. P. Van der Meer, 1983a. Genetics of *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta) IX. Some properties of agars extracted from morphological mutants. Bot. Mar. 26: 295-299.
- Patwary, M. V. & J. P. Van der Meer, 1983b. Growth experiments on morphological mutants of *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta). Can. J. Bot. 61: 1654-1659.

- Patwary, M. V. & J. P. Van der Meer, 1983c. Improvement of *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyceae) by genetic modification of thallus morphology. *Aquaculture*, Amsterdam 33: 207-214.
- Pettersson-Löfquist, P., 1995. The development of open water algae farming in Zanzibar: Reflections on the socioeconomic impact. *Ambio* 24: 487-491.
- Pickering, T.D., V.H. Sladden, R.H. Furneaux, J.A. Hemmingson & P. Redfearn, 1993. Comparisson of growth rate in culture, dry matter content, agar content and agar quality of two New Zealand red seaweeds, *Gracilaria chilensis* Bird, McLachlan et Oliveira and *Gracilaria truncata* Kraft. *J. Appl. Phycology* 5: 85-91.
- Piriz, M. L., 1993. Situación de la industria de los carragenanos en América del Sur En: Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en América Latina y el Caribe. Documento de campo nro. 13: 27-31. Proyecto AQUILA II, F.A.O. GCP/RLA/102/ITA.
- Pizarro, A. & H. Barrales, 1986. Field assessment of two methods for planting the agar containing seaweeds, *Gracilaria* in northern Chile. *Aquaculture*, 59: 31-43.
- Racca, E.C., 1966. Estudio sobre la explotación industrial de las algas agarófitas de las costas del norte del Estado Falcón, Península de Paraguaná. Tesis de pregrado. UCV, Caracas-Venezuela
- Racca, E., R. Hurtado, C. Dawes, C. Balladares & J. Rubio, 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. Documento de campo nro. 13:39-46. Proyecto AQUILA II, F.A.O. GCP/RLA/102/ITA.
- Raju, P. V. & P. C. Thomas, 1971. Experimental field cultivation of *Gracilaria edulis* (Gmel.) Silva. *Bot. Mar.*, 15: 71-75.
- Richards, F., 1960. Some chemical and hydrographic conditions observations along the north coast of South America. I Cabo Tres Puntas to Curazao, including the Cariacio Trech and the Gulf of Cariaco. *Deep Sea Res.* 7: 163-182.
- Rincones, R., 1990. Experimental cultivation of an agarophyte, *Gracilaria cornea* in the nor-east of Venezuela. In: Oliveira & Kautsky. (eds.). Proc. of a workshop. International Foundation for Science. University of Sao Paulo: 65-67
- Rincones, R. E., J.N. Rubio & E. C. Racca, 1993. *Gracilaria* Pilot Farming in Venezuela. Proceedings of the 1st international workshop on sustainable seaweed resource development in sub-Saharan Africa, Windhoek-Namibia. March 22-29, 1992. pp. 309-318.
- Rincones, R.E., S. Yu & M. Pedersén, 1993. Effect of dark treatment on the starch degradation and the agar quality of cultivated *Gracilariopsis lemaneiformis* (Rhodophyta, Gracilariales) from Venezuela. *Hydrobiologia* 260/261: 633-640.
- Rubio, J. & Hurtado, R. Preliminary *Gracilariopsis lemaneiformis* farming in the Paraguaná Península, Venezuela. (in press). Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela.
- Rubio, J. & R. E. Rincones, 1996. Consideraciones económicas y sociales del cultivo de algas en Venezuela Memorias del IV Congreso Latinoamericano de Ficología, II Reunión Iberoamericana de Ficología. VII Reunión Brasileña de Ficología. Caxambú, Brasil 1996 (en prensa).
- Santelices, B., 1989. Algas Marinas de Chile. Distribución, Ecología, Utilización, Diversidad. Ediciones Univ. Católica de Chile. 399 pp.
- Santelices, B. & M. S. Doty, 1989. A review of *Gracilaria* farming. *Aquaculture*, 78: 95-133.
- Santelices B. & D. Varela, 1993. Intra-clonal variation in the red seaweed *Gracilaria chilensis*. *Mar. Biol.* 116: 543-552.



- Smith, A. H., 1990. Commercial cultivation of *Gracilaria spp.* used for food in the West Indies. In: Oliveira, E.C. & N. Kautsky (eds) Proc. Workshop on cultivation of Seaweeds in Latin America, April 2-8, 1989. IFS-Univ. Sao Paulo, Sao Paulo-Brazil. 75-78.
- Smith, A., K. Nichols & J. McLachlan, 1984. Cultivation of seamoss (*Gracilaria*) in St. Lucia, West Indies, *Hydrobiologia*, 116/117: 249-251.
- Tiensongrusmee, B. & I. M. Mueliono, 1987. Impact of the introduction of seaweed farming on income, occupation and social structure in the fishing communities of Batu Nampar and Gurupuk, Lombok. Seafarming Development Project. INS/81/008. FAO-UNDP Technical paper N°2. 15p.
- Troncone, P. 1977. Metodología del preseminario y la investigación científica. El Cid Editorial.
- Ugarte, R. & B. Santelices, 1992. Experimental tank cultivation of *Gracilaria chilensis* in central Chile. *Aquaculture* 101: 7-16.
- Usov, A.I., 1984. NMR spectroscopy of red seaweeds polysaccharides: agars, carrageenans and xylans. *Bot. Mar.* 27: 189-202.
- Van der Meer, J. P., 1978. Genetics of *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyceae) VI. Complementation and linkage analysis of pigmentation mutants. *Can. J. Bot.* 57: 64-68.
- Van der Meer, J. P. & N. L. Bird, 1977. Genetics of *Gracilaria sp.* (Rhodophyceae, Gigartinales) I. Mendelian inheritance of two spontaneous green variants. *Phycologia* 16: 159-161.
- Van der Meer, J. P. & X. Zhang, 1988. Similar unstable mutations in three species of *Gracilaria* (Rhodophyta). *J. Phycol.* 24: 198-202.
- Westermeier, R. & P. Rivera, 1989. Evaluación de sistemas de cultivos en CORFO: Investigación, desarrollo, cultivos y uso industrial de algas *Gracilaria*. 223 pp.
- Westermeier, R., P. Rivera & I. Gómez, 1988. Manual para el cultivo y manejo de *Gracilaria* en el sur de Chile. CORFO-U. Austral de Chile. 245 pp.
- Yaphe, W., 1984. Properties of *Gracilaria* agars. *Hydrobiologia* 116/117: 171-186.
- Yaphe, W. & G. P. Arsenault, 1965. Improved resorcinol reagent for the determination of fructose and 3,6-anhidrogalactose in polysaccharides. *Analyt. Biochem.* 13: 143-148.
- Zertuche, J.A., 1993: Situación actual del cultivo de algas agarófitas en América Latina y el Caribe En: Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en América Latina y el Caribe. Documento de campo nro. 13: 5-15 Proyecto AQUILA II, F.A.O. GCP/RLA/102/ITA
- Zertuche, J.A. & J. García, 1989. Promoción del cultivo de *Gracilaria sp.* Proyecto FAO-AQUILA, GCP/RLA/075/, Informe final. 35 pp.