

Cultivo piloto del alga roja *Euchema sp.*

y su aplicación en la industria

Ricardo Pérez Enríquez
Deneb Chavira Martínez
Miguel Angel Vargas Téllez

Introducción

La utilización de los recursos algales marinos ha tenido una gran importancia desde hace varios siglos en culturas como la china, japonesa, irlandesa y otras, ya fuera como alimento, medicamento o forraje (Jensen, 1977). A raíz de la gran utilidad que los mucílagos (componentes celulares de las algas superiores, que al combinarse con agua forman disoluciones viscosas o gelatinosas) tienen en la industria actual, la explotación de las algas se ha venido realizando de manera más intensiva.

Los mucílagos más utilizados en la industria son: alginatos (extraídos de algas pardas), agar y carragenatos (extraídos de algas rojas). En particular, los carragenatos o carragenina es utilizada en nuestro país en una gran variedad de productos alimenticios, farmacéuticos e industriales. Algunas de las funciones que ésta desempeña en tales productos son: estabilizadora, evita la separación de los componentes; espesante, da consistencia y cuerpo al producto; emulsificante, mantiene en suspensión partículas insolubles; y gelificante, da consistencia gelatinosa (Jensen, 1977). La tabla I muestra algunos de los productos que contienen carragenina.

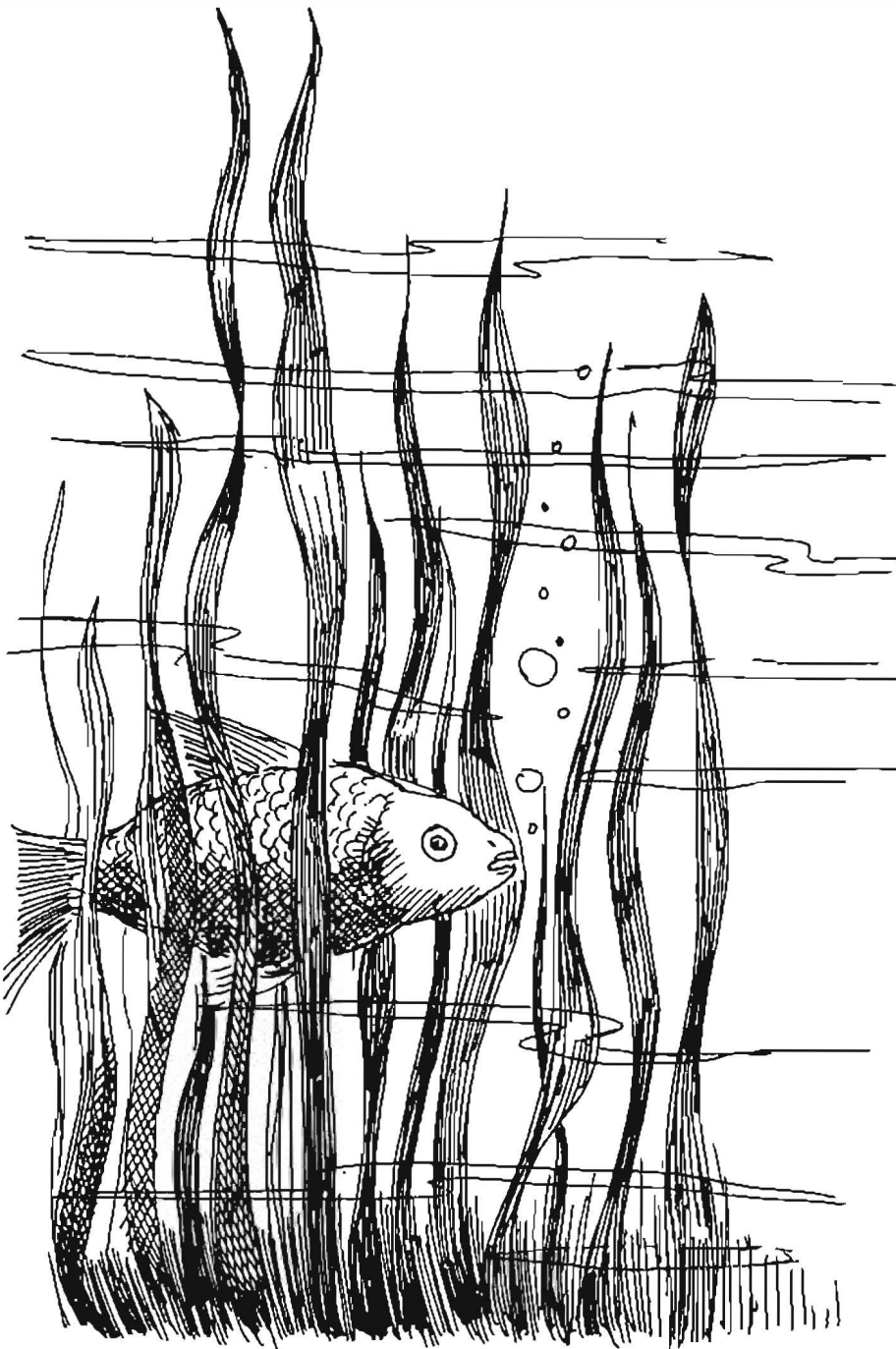


Tabla I. Algunos usos de la carragenina en la industria. (Fuente: FMC, 1977; Parker, 1974).

Producto	Función
Chocolate líquido	Espesante, da cuerpo
Leche evaporada	Emulsificante, estabilizante
Productos enlatados	Gelificante
Pasta dental	Da consistencia y cuerpo
Antibióticos	Suspensorio, estabilizante
Laxantes líquidos	Emulsificante
Pinturas	Suspensorio

Hasta hace dos décadas la extracción de la carragenina a nivel industrial se realizaba únicamente a partir de algas cosechadas de los mantos naturales, siendo los principales géneros: *chondrus crispus* o musgo irlandés, *eucheuma* spp. o agar-agar filipino y *gigartina* spp. o pelo de cochi (Jensen, 1977). Sin embargo la sobreexplotación empezó a provocar el agotamiento del recurso (Parker, 1974) y según Deveau y Castle (1976), este problema motivó el inicio de la investigación sobre métodos de cultivo que permitieron mantener y, posteriormente, incrementar la producción de tales algas, con la consiguiente conservación de las poblaciones naturales. Huguenin (1978) afirma que otro factor de importancia que permitió el desarrollo de la investigación fue la creciente demanda mundial de carragenina.

De esta manera, fue en el género *eucheuma* sobre el cual recayeron los esfuerzos por el cultivo. Doty (1973) y Doty y Alvarez (1973) hacen un esbozo del desarrollo de los cultivos

en el mar de las especies *eucheuma cottonii* y *E. spinosum* en Las Filipinas, y hablan del éxito que logran al fomentar un sistema de granjas familiares con un área de 0.5 ha, utilizando para ello redes de monofilamento (2.5 x 5 m) colocadas horizontalmente debajo del nivel de la marea más baja y atadas por los extremos a varas de mangle. Así pues, la producción filipina de *eucheuma* representa alrededor del 60% de la oferta mundial, lo cual muestra la efectividad, tanto de la técnica de cultivo como del sistema de producción (Deveau y Castle, 1976). Asimismo, el nivel de vida de las familias maricultoras ha observado un incremento bastante notable, ya que en algunos casos, el ingreso familiar se ha llegado a triplicar (Deveau y Castle, 1976; Parker, 1974). Sin embargo, se hace un gran énfasis en que el éxito alcanzado, requirió varios años de investigación experimental.

Doty (1973) y Parker (1974) mencionan que el alga *eucheuma* spp. presenta varias características que la hacen susceptible a ser cultivada, entre

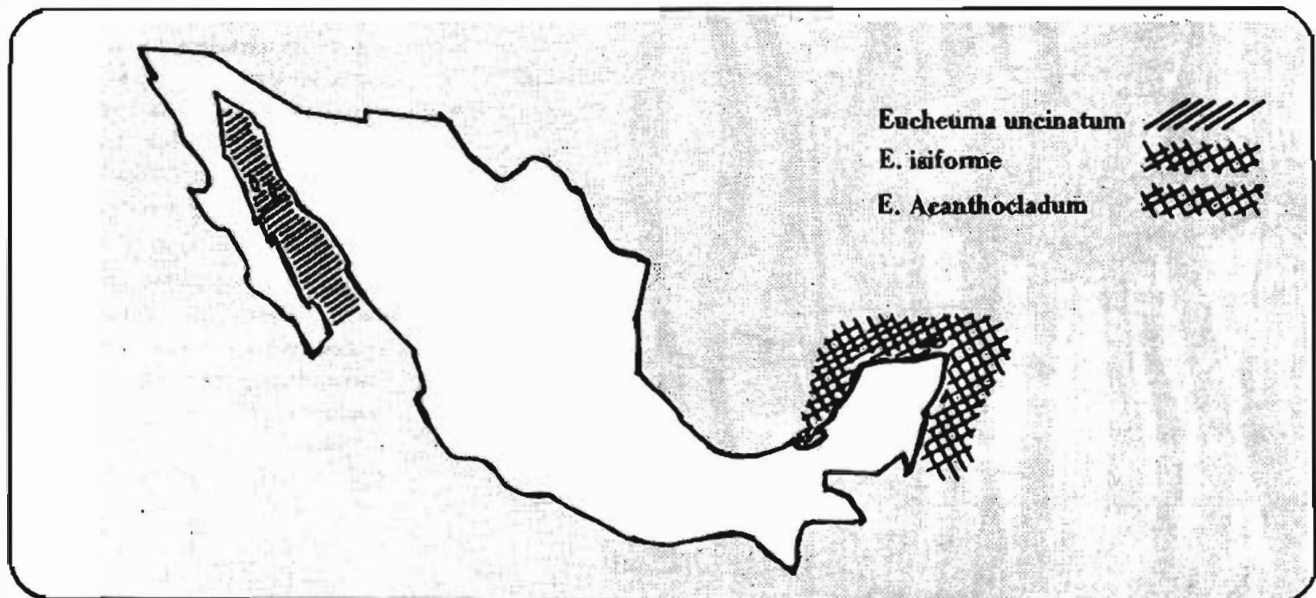


Fig. 1. Distribución conocida de 3 especies del género *Eucheuma* en México. (Fuentes: Dawson, 1961; Guzman del Proo, 1969; Leving et. al., 1969.)

las más importantes están: presenta reproducción vegetativa, lo cual permite cosechar plantas de talla comercial a partir de trozos pequeños; tiene altas tasas de crecimiento (entre 3 y 4.5% diario), lo cual permite realizar de dos a tres cosechas anuales; no es muy delicada en su manejo, lo cual indica que pueden ser trasplantadas con relativa facilidad; y contiene un alto porcentaje de carragenina (alrededor del 40 % del peso seco).

En México existen mantos de *eucheuma* spp. (Dawson, 1961; Guzmán del Proo, 1969; Levring et al., 1969) y de algunas otras especies que contienen carragenina (llamadas carragenofitas), como *cigartina* spp. e *iridaea* sp. (Dawson, 1961). Sin embargo, solamente *cigartina canaliculata* es explotada (Guzmán del Proo et al, 1974) y su industrialización se lleva a cabo en los Estados Unidos. La figura 1 muestra la distribución de tres especies de *eucheuma* en la República Mexicana.

Parker (1974) señala que en México existen sitios adecuados para llevar a cabo el cultivo de esta alga, como el Mar Caribe y el Golfo de California; pero el autor insiste en la necesidad de realizar estudios a nivel piloto con el fin de determinar con precisión las áreas óptimas para llevar a cabo dicho cultivo, lo que permitirá además hacer una estimación de la cantidad y calidad del producto que será obtenido y con ello determinar la factibilidad de un proyecto a nivel comercial.

Dado que en nuestro país no hay producción de carragenina, la industria mexicana se ha visto en la necesidad de importarla con la consecuencia de salida de divisas e incremento de los costos de producción de los productos de la tabla I. La importancia que la carragenina ha ido adquiriendo en México, queda representada por el monto de las importaciones de la misma en los últimos años (figura 2).

En un sentido amplio, son tres los tipos de carragenatos comercialmente utilizados, a saber:

- Carragenina kappa (k); Forma geles rígidos.
- Carragenina iota (i); Forma geles elásticos.
- Carragenina lambda (λ): No forma geles, sólo soluciones viscosas.

Al igual que con el cultivo del alga, es necesario realizar un estudio piloto con la carragenina extraída del alga cultivada, de tal manera que se pueda estimar el rendimiento de la misma y la calidad del producto extraído.

El presente trabajo es un diseño de un cultivo piloto del alga *eucheuma* sp. para alguna localidad del país y la extracción piloto de carragenina a partir del mismo.

Objetivos

Se tienen tres objetivos principales que a continuación se enumeran:

1. Determinar la localidad más adecuada para el cultivo
2. Determinar el mejor método de cultivo.
3. Determinar tipo, rendimiento y calidad de la carragenina obtenida.

Area de estudio

Se elegirá mediante un análisis a dos niveles:

Primer nivel: se utilizarán mapas de la República Mexicana (escala 1:100,000) y en las regiones donde existen mantos naturales del alga *eucheuma* sp. se elegirán las áreas que sean protegidas y/o semiprotegidas (Doty, 1973; Guzmán del Proo, 1977; Levring et al., 1969; Parker, 1974).

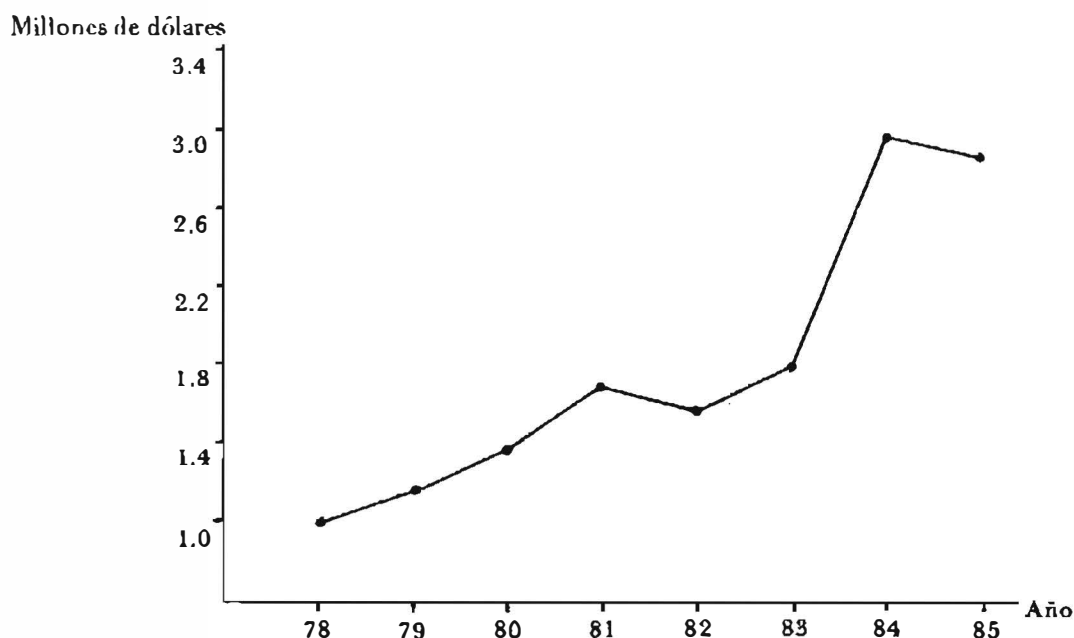


Fig. 2. Valor de las importaciones de carragenina hechas por México de 1978 a 1985. (Fuente: SPP).

Segundo nivel: utilizando los criterios de Doty (1973), Doty y Alvarez (1973) y Parker (1974), se construirá una matriz entre las características de la tabla II y las áreas propuestas. De esta manera, se hará una jerarquización de importancia entre las características citadas y, posteriormente, se realizará una comparación entre cada una de ellas y entre cada una de las áreas propuestas (Scaty, 1980). Esto dará como resultado la obtención de las áreas más susceptibles de ser cultivadas experimentalmente.

artes de cultivo, de manera que se pueda observar su comportamiento en el área de estudio.

Doty (1973) y Parker (1974) proponen que las artes de cultivo se coloquen a una profundidad aproximada de 0.5 m debajo del nivel de la marea más baja para así evitar la desecación y que se mantengan en una posición homogénea con respecto al sentido predominante de la corriente.

a) *Cultivo en línea*: una unidad de cultivo en línea consiste en una serie de cinco monofilamen-

Tabla II. Características a utilizar en la evaluación de las áreas propuestas para el cultivo e industrialización del alga *Eucheuma* sp.

CULTIVO	INDUSTRIALIZACION
- Buen intercambio de agua	- Disponibilidad de agua potable en abundancia
- Poca incidencia de tormentas	- Disponibilidad de servicios (luz, carretera, etc.)
- Baja profundidad (máximo 5 m.)	- Fácil obtención de insumos
- Poca variación anual de salinidad	
- Poca variación anual de temperatura	
- Alta transparencia del agua	
- Área extensa	
- Buena concentración de nutrientes	
- Zona libre de contaminantes	
- Zona libre de otros usos	
- Zona accesible	

Materiales y métodos

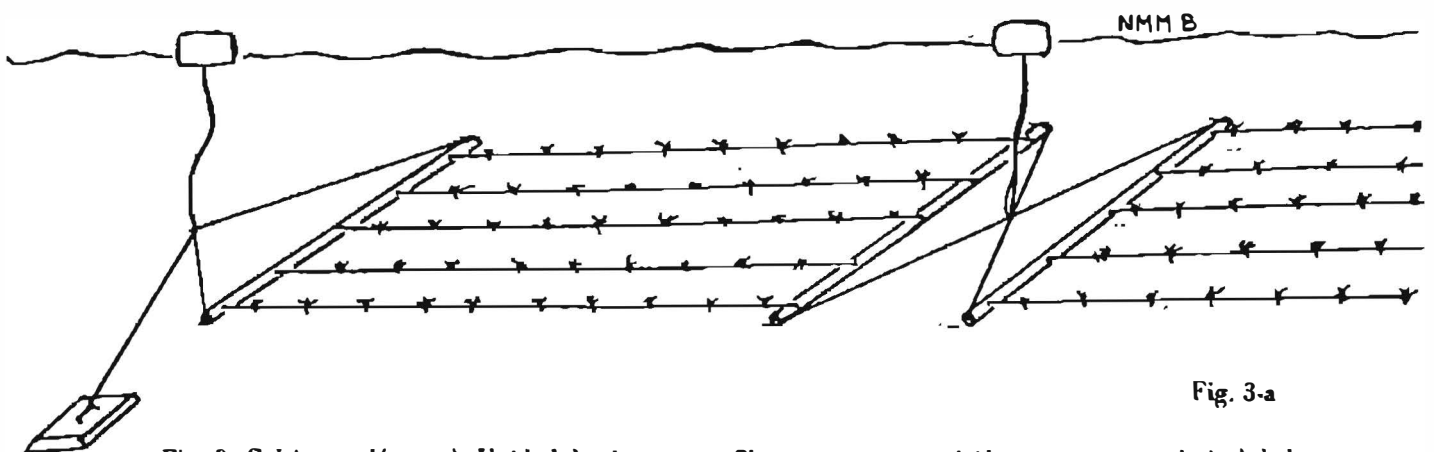
Para el desarrollo del proyecto se tendrán tres fases:

Fase I Cultivo

1. *Artes de Cultivo*: según Deveau y Castle (1976) en las Filipinas se han diseñado dos artes de cultivo; el cultivo en red y el cultivo en línea, siendo el segundo el que proporciona un producto más limpio con menos mantenimiento, aunque la producción, por unidad de área, del cultivo en red resulta ser mayor. Así, en este trabajo se proponen ambas

formas de cultivo. Los monofilamentos de nylon de 40 kg de resistencia, de 3 m de largo cada uno y separados 40 cm entre sí; quedando fijos por cada extremo a un tubo PVC (polivinil cloruro) de 3/4 de pulgada, mismos que deben quedar sujetos a un anclaje de cemento, cuyo peso depende de la fuerza de la corriente (figura 3a). Con el fin de mantener las unidades horizontales se les coloca un flotador en cada extremo. Una forma de utilizar con mayor eficacia el área de cultivo, es constituyendo módulos de cuatro unidades (figura 3b) (Deveau y Castle, 1976).

Posteriormente se procede a "sembrar" trozos de alga de 100 a 200 gr (peso húmedo), fijándolos



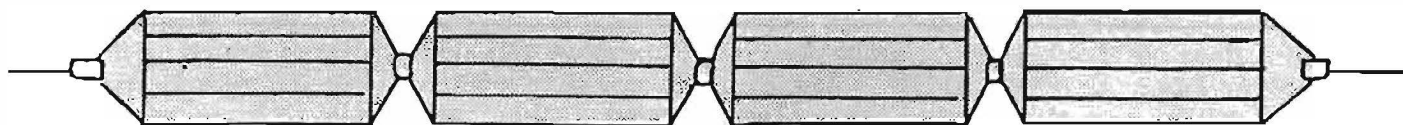


Fig. 3-b

a los monofilamentos mediante cintillas de plástico de 20 cm quedando separados entre sí 30 cm (figura 3c). De esta forma, cada unidad de cinco monofilamentos y cada módulo tendrán 48 y 192 plantas respectivamente.

b) *Cultivo en red*: en este caso, las unidades de cultivo consisten en redes de nylon de 3 x 1.8 m. con la luz de malla de 30 cm y al igual que el cultivo en línea, los módulos se forman con cuatro

res a los iniciales; en las unidades B3 y B4 la cosecha es parcial, dejando porciones de alga del peso mencionado. A los siguientes 45 días se repite la operación, continuando sucesivamente hasta completar el ciclo anual.

Módulos C y D: en estos casos, el mecanismo de cosecha es igual que en el anterior, con la diferencia de que los periodos de cosechas son de 60 y 90 días respectivamente.

De esta manera, las unidades con cosecha total

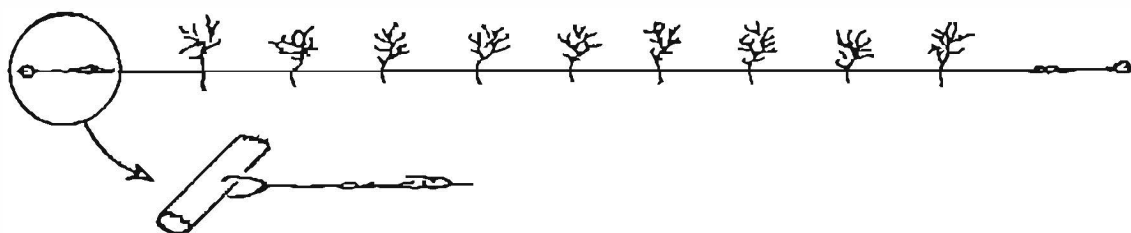


Fig. 3-c

unidades (figura 4). Las plantas son sembradas en cada una de las intersecciones de la red, dando como resultado 56 plantas por unidad y 224 por módulo.

2. *Experimentación*: con el fin de obtener la información completa posible, el estudio experimental que se propone es de un año de duración.

de cada módulo permiten calcular la tasa de crecimiento de las algas durante cada periodo, mientras que las unidades con cosecha parcial, permiten hacer una estimación de la producción obtenible en cada periodo y, con esto, es posible determinar cuál es la mejor estrategia de cosecha.

3. *Mantenimiento*: Parker (1974) y Wheeler

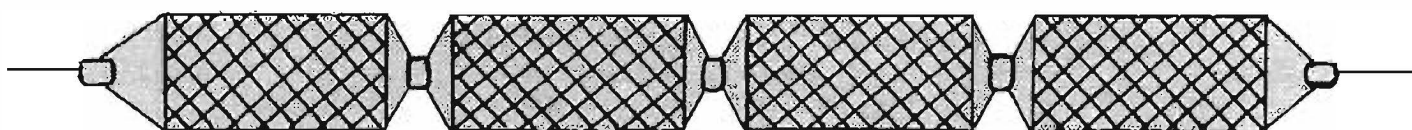


Fig. 4. Cultivo en Red; módulo de cuatro unidades.

De cada arte de cultivo se dispondrán cuatro módulos, de los cuales, uno (módulo A) es utilizado como control, y es en donde se observa la variación natural de la biomasa de las algas a lo largo del año; los tres restantes (módulos B, C y D) son utilizados para la siguiente experimentación (figura 5).

Módulo B: a los 45 días de la siembra, se lleva a cabo la cosecha, siendo total en dos de las unidades (B1 y B2) y se resiembró con trozos simila-

et al. (1981) hacen mención de la importancia que tiene mantener los cultivos libres de epifitos, organismos que viven sobre las algas y que generalmente las afectan de alguna u otra manera, y de organismos pastoreadores, ya que ambos disminuyen la tasa de crecimiento y pueden acabar con el cultivo. La limpieza de epifitos se debe realizar semanalmente raspando con un estropajo suave, líneas y redes, mientras que las plantas deben ser limpiadas manualmente. Los pastoreadores bentó-

Módulo	Unidades	Tiempo (meses)												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	1,2,3,4,	+	_____											
B	1,2	+	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
B	3,4,	+	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C	1,2,	+	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
C	3,4,	+	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
D	1,2,	+	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
D	3,4,	+	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Fig. 5. Cronograma de siembra y cosecha para cada módulo: en donde (+) es siembra inicial, (o) es cosecha total y resiembra y (*) es cosecha parcial.

nicos por lo general erizos y caracoles, serán eliminados manualmente de las áreas aledañas a las artes de cultivo. Los ejemplares que se observen poco saludables serán retirados y analizados en el laboratorio (Parker, 1974).

Russel (1982) y Wheeler et al. (1981) recomiendan el monitoreo de factores fisicoquímicos del área de cultivo a lo largo del ciclo anual. Entre los factores que se mencionan se encuentran: temperatura, salinidad, transparencia del agua y concentración de nutrientes (NO_3 , PO_4): para esto se

Fase II Procesamiento de las muestras.

1. *Extracción de la carragenina:* las muestras obtenidas de las cosechas de cada una de las unidades se secan a temperatura ambiente y se utilizan para la extracción de la carragenina, según el método utilizado por Dawes et al. (figura 6).

2. *Caracterización de la carragenina:* la verificación de la calidad se lleva a cabo mediante dos análisis: fuerza de gel (figura 7a) y viscosidad (figura 7b), Dawes et al. (1977).

Alga seca (30 gr.) + Agua destilada (940 ml.) + NaOH (0.6 gr.)
 Molienda
 Extracción a 85°C con agitación continua 3 hrs.
 Filtración al vacío
 Filtrado + Propanol al 85%
 Agitación
 Secado
 Molienda
 Carragenina seca en polvo

Fig. 6 diagrama de flujo del proceso de extracción de la carragenina.

utilizan termómetro, refractómetro, disco de Secchi y analizador portátil, respectivamente. Las mediciones son semanales.

Fase III Toma y procesamiento de datos

1. *Artes de cultivo:* se determinarán los costos

de los insumos de las artes de cultivo y se hará una estimación de la inversión total anual necesaria para un cultivo de una hectárea (tabla III). Asimismo, se estimará el esfuerzo consumido por cada arte en las labores de instalación, siembra, cuidado y cosecha; el esfuerzo se cuantificará en horas-hombre (Doty, 1973; Doty y Alvarez, 1975).

producción anual por hectárea para cada arte y para cada estrategia de cosecha. Comparando dichas estimaciones mediante un análisis de varianza (Sokal y Rohlf, 1979) se podrá determinar qué arte y qué estrategia de cosecha dan como resultado una mayor producción anual.

3. *Parámetros físicoquímicos*: con los datos se-

Extracto (3.6 gr.) + KCl (.36 gr.) + Agua destilada (176 ml.)
 Pesado
 Agitación a 80-85° C
 Vertido en caja de cristalización (7 cm. diam. x 5 cm. alt.)
 Enfriamiento a 10°C por 1 hr.
 Probador de geles. (pistón de 1.09 cm. diam.)
 a)
 Extracto (2.7 gr.) + Agua destilada (177.3 ml.)
 Agitación continua a 80-85°C.
 Enfriamiento a 75°C
 Viscosímetro
 b)

Fig. 7. Caracterización de la carragenina: a) Fuerza de Gel; b) Viscosidad.

2. *Experimentación*: las algas del módulo A serán observadas durante el ciclo anual, de tal manera que se obtenga información sobre las variaciones naturales de biomasa de la especie en estudio. Las algas cosechadas de los módulos B, C y D se pesarán en húmedo, se secarán y se pesarán en seco. Con los datos obtenidos de las unidades 1 y 2 de estos módulos se determinará la tasa de crecimiento para cada uno y para cada época del año. Con los datos de las unidades 3 y 4 se estimará la producción por unidad para cada época del año. Posteriormente se podrá hacer una estimación de la

manuales se harán series de tiempo anuales de temperatura, salinidad, transparencia del agua y nutrientes (NO₃, PO₄) para el área de cultivo, posteriormente, se harán correlaciones entre estos factores y las tasas de crecimiento calculados en los módulos.

4. *Extracción de la carragenina*: se evaluará el rendimiento de carragenina (1^o/o de carragenina obtenida de 1 kg de alga seca) a partir de las algas de cada experimento. Mediante una prueba t de Student (Sokal y Rohlf, 1979) se determinará de qué arte se obtienen algas con mayor rendimiento

Tabla III. Costos estimados por módulo para cada una de las artes de cultivo (costos de octubre de 1986)

Concepto	Arte de Cultivo		Red	
	Cantidad	Costo por módulo	Cantidad	Costo por módulo
Red de nylon	—	—	4	\$ 3 500
Línea de nylon * 80 lb)	100 m	\$ 795	—	—
Tubo (PVC) 1.8 m (3/4 plg)	8	\$ 8 400	8	\$ 8 400
Boya de plástico	5	\$ 20 750	5	\$ 20 750
Alambre galvanizado (No. 16)	8 m	\$ 650	—	—
Broches de metal (bandolas)	40	\$ 4 000	—	—
Cabo de polipropileno (1/8 plg)	35 m	\$ 6 000	35 m	\$ 6 000
Cintillas de plástico	192	300	224	\$ 400
Anclaje de cemento (300 Kg)	2	\$ 7 000	2	\$ 7 000
Costo total		\$ 47 895		\$ 46 050
Costo total/ha (100 módulos/ha)		\$ 4 789 500		\$ 4 605 000

de carragenina. Asimismo, se evaluará la calidad y propiedades de dicho producto.

5. *Factibilidad económica:* a partir de los resultados que se obtengan en el experimento piloto, es posible determinar la factibilidad económica del proyecto a nivel comercial. A pesar de que por el momento no se cuenta con dichos resultados, es posible hacer una estimación de las ganancias que generaría una granja de cultivo similar a las que se encuentran funcionando en Las Filipinas. En el supuesto que en el experimento piloto se obtuviesen resultados comparables con los citados, los cálculos serían como sigue:

Parker (1974) y Deveau y Castle (1977) reporta una tasa de crecimiento diario de 2.5% promedio. Si consideramos que el peso inicial de las plantas es de aproximadamente 200 gr se tiene que, en 90 días el peso de una planta es de 1.8 kg calculado a partir de la ecuación de la figura 8; posteriormente, se cosechan 1.6 kg y si se consideran 9 meses productivos, se observa que se obtendrían cerca de 4.8 kg anuales por planta.

Un módulo del arte de cultivo en línea tiene 192 plantas, por lo cual una hectárea con 100 módulos tendrá 19200 ejemplares; entonces, la producción estimada será de 4.8 kg x 19200 algas = 92160 kg/ha/año de este total de peso húmedo, el 13% (Parker, 1974) es el peso seco, por lo cual la producción es de 11980 kg/ha/año.

Si la cotización actual de 1 kg de alga seca, fluctúa entre \$ 350 y \$ 400 pesos, entonces el valor total de la producción sería de \$ 400 x 11980 kg = \$ 4,792,000 pesos/ha/año.

Ahora bien, el rendimiento aproximado de carragenina a partir del alga seca, es de 35% (Dawes et al. 1974) entonces la producción estimada de carragenina es de 11980 kg x 0.35 = 4193 kg de carragenina/ha/año.

El valor de importación promedio de carragenina para los primeros meses de 1986 fue de 8.92 dólares/kg (Fuente: SPP), por lo cual el valor de la producción asciende a 8.92 dls x 4193 kg = 37,400

$$P_f = P_o e^{kt}$$

donde:
 P_o = Peso inicial (200 gr.)
 P_f = Peso final (incógnita)
 e = exponencial
 k = constante de crecimiento (2.5%/d) = .025
 t = tiempo (90 días).

Fig. 8. Ecuación utilizada para calcular el crecimiento de las algas en cultivo (Parker, 1974).

dls /ha/año.

Descontando los gastos que la inversión inicial implica y los gastos de producción, se puede pensar *grosso modo* que el proyecto es factible a escala comercial.

Conclusiones

Dado que en la República Mexicana cada día se hace más necesario el desarrollo de nuevas industrias que permitan la independencia tecnológica y económica se ha trabajado en este proyecto con el fin de lograr tal objetivo.

El cultivo e industrialización del alga *eucheuma* sp. en México, puede llegar a ser una actividad bastante rentable, que generaría los siguientes beneficios:

1. Si el cultivo e industrialización son llevados a cabo por una sociedad cooperativa, ésta incrementaría en mucho sus ingresos, lo cual repercute directamente en el mejoramiento del nivel de vida de la comunidad. Ahora bien, si es realizado por la iniciativa privada, se abriría una fuente de empleo importante.

2. Se contaría con una tecnología de cultivo que podría ser aplicada en diferentes regiones del país.

3. Se eliminaría la salida de divisas que la actual importación de la carragenina implica.

De esta manera, es notoria la importancia del presente proyecto dada la necesidad de contar con un estudio a nivel piloto de este proceso.

Referencias

1 Dawes, C. J., N. F. Stanley y D. J. Stancioff, 1977, "Seasonal reproductive aspects of plant chemistry and i-carragenan from floridian *eucheuma* (rhodophyta, gigartinales)", *Botánica marina* vol. XX: 137-147.

2 Dawson, E. Y., 1961, "Marine red algae in Pacific Mexico. Part. 4: *gigartinales*", *Pacific naturalist* 2(5): pp. 191-343.

3 Deveau, L. E. y J. R. Castle, 1976, "The industrial development of farmed *eucheuma* in the Phillipines and USA" *FAO Technical Conference in Aquaculture*, Kyoto, Japan, 26 May 2 June, 1976; *FIR: AQC/Conf./76/E*. 56, 6 pp.

4 Doty, M. S., 1978, "Farming the red seaweed, *eucheuma*, for carrageenans." *Micronesica* 9(1): pp. 59-73.

5 Doty, M. S. y V. B. Alvarez, 1978, "Seaweed farms: a new approach for U. S. industry", *Proc. Mar. Tech. Soc. IXth Annual Conference*. Washington, D. C. pp. 701-708.

6 FMC, 1977, *Carragenan*, Monograph Núm. 1, Marine Colloids Division, FMC Corporation, 36 pp.

7 Guzmán del Proo, S. A., 1969, "Los recursos vegetales marinos de Baja California". *Proc. Int. Seaweed Symp.* 6 pp. 685-690.

8 Huguenin, J. E. 1978, "A subjective analysis of alternate approa-

ches to mass culturing seaweeds", *Proc. World Maric. Soc.* VIII: pp. 387-400.

9 Jensen, A., 1977, "Industrial utilization of seaweed in the past, present and future," *Proc. Int. Seaweed Symp.* 9: pp. 17-37.

10 Levring, C. P., S. D. Hope y V. M. Schmid, 1969, *Marine algae*, Walter de Gruyter & Co. Publ. Berlin. 372 pp.

11 Parker, H., 1974, "The culture of the red algal genus *eucheuma* in the Phillipines", *Aquaculture* 3: pp. 425-439.

12 Russell, D. J., 1982, "Introduction of *eucheuma* to Fanning Atoll, Kiribati, for the purpose of mariculture", *Micronesica* 18: pp. 35-44.

13 Sokal, R. y W. Rohlf, 1979, *Biometría*, Trillas, México. 614 pp.

14 SPP, *Anuarios estadísticos de comercio exterior*, SECOFIN, México.

15 Seaty, T. L., 1980, *The analytic hierarchy process*, Mc. Graw Hill Inc., EU, 285 pp.

16 Wheeler, W. N., M. Neushul y B. W. Harger, 1981, "Development of a coastal marine farm and its associated problems", *Proc. Int. Seaweed Symp.* 10: pp. 631-636.