

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**



**"CULTIVO DE *Porphyra perforata* J. AGARDH (BANGIALES, RHODOPHYTA) MEDIANTE EL USO DEL MÉTODO DE TUBOS DE MALLA PLÁSTICA"**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**  
**O C E A N O L O G O**

**PRESENTA**  
**BENJAMÍN CASILLAS LÓPEZ**

**ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, JUNIO DE 2002**

**"CULTIVO DE *Porphyra perforata* J. AGARDH (BANGIALES,  
RHODOPHYTA) MEDIANTE EL USO DEL MÉTODO DE TUBOS DE MALLA  
PLÁSTICA"**

**TESIS  
QUE PRESENTA:  
BENJAMÍN CASILLAS LÓPEZ**

**Aprobada por:**



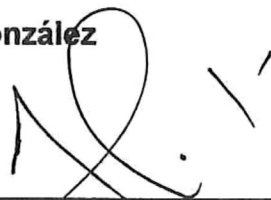
---

**Presidente del Jurado  
Dr. José Antonio Zertuche González**



---

**Sinodal Propietario  
M.C Enrique Valenzuela Espinoza**



---

**Sinodal Propietario  
Dr. Isai Pacheco Ruiz**

## DEDICATORIA

A Marina López Casillas y J.Humberto Casillas Muñoz, que son los mejores padres del mundo. Gracias por su apoyo, amor, confianza, paciencia y todo lo que me han dado, los quiero mucho.

A mis hermanos y hermana (Licenciados e Ingenieros, solo faltaba yo) que son un gran ejemplo a seguir y que a sido difícil conseguirlo, porque todos son excelentes, pero ustedes siempre han estado ahí para ayudarme. Gracias Beto, Marina y Gabriel.

A mis cuñadas Lore y Mari que son también parte importante de la familia y que me han sabido responder en todo momento porque son unas personas maravillosas.

A la pequeña Ana Lorena (mi sobrinita) y a los o las demás que vengan.

A los mejores amigos que nacieron de esta etapa. Por su paciencia, respeto, apoyo, comprensión, alegrías, compañía, fiestas, etc; gracias Ruth, Gabo, Julito, Munch, Gerardo Esteban y Lulú.

A Roy, por toda la paciencia que me tienes y sobre todo el apoyo e interés que me brindas para realizar mis proyectos.

A la familia Casillas Muñoz, Abuelita Rosa, Poncho, Lulú (gracias por tus comentarios a este trabajo), Ernesto e Hilda porque siempre han estado al pendiente.

A la familia López Casillas, Abuelita Berta, Abuelito Ubaldo (te extraño), tíos, primos, padrinos etc. por su gran apoyo de libros, cariño y motivación para continuar.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo brindado para la elaboración de esta tesis dentro del proyecto " Desarrollo del cultivo de algas marinas de valor comercial" (G-28069-B).

Al Dr. José Antonio Zertuche González por la oportunidad de participar en el proyecto y aceptar dirigir este trabajo.

Al Dr. Isai Pacheco Ruíz quien me apoyo en el trabajo de campo y por sus acertadas observaciones.

Al M.C. Enrique Valenzuela Espinoza por aceptar revisar este trabajo y realizar sus comentarios referentes al trabajo.

Al Oc. Edgar Arroyo Ortega por el completo y entusiasta seguimiento durante todo el trabajo así como su paciencia y apoyo pero sobre todo por su amistad.

A todos los profesores y personal de Facultad de Ciencias Marinas quienes me brindaron su conocimiento, dedicación y trabajo en esta importante etapa.

A mis compañeros en el trabajo de campo: Pepe Guzman, Edgar Arroyo, Alberto Galvez, Isai Pacheco, José Zertuche, Alfredo Chee y demás miembros del equipo de macroalgas del IIO, así como a los buzos (Francisco Becerril) que apoyaron en la instalación de la unidad.

A todos mis compañeros y compañeras de generación.

A mis amigos de Ensenada: Cristian, Billy, Eduardo, Rebeca, Irani y familia Coello Ruíz por recibirme y convencerme de que Baja California es maravilloso.

A IKEN Diseño gráfico (Yukiko y Héctor) por su amistad y ayudarme realizar el dibujo del sistema de cultivo.

A mis amigos de toda la vida Karla y Memo así como a las incondicionales amigas de la prepa, Lulú, Julieta y Thelma. Les recuerdo que los últimos serán los primeros.

A mis compañeros de trabajo y jefas en Pro Esteros, quienes me dieron la oportunidad de comenzar mi vida profesional, aprender y conocer personas y lugares maravillosos.

## RESUMEN

Se realizaron estudios demográficos para *Porphyra perforata* (J. Agardh), en Campo Kennedy, Ensenada, B.C. con el propósito de evaluar la factibilidad técnica de esta especie para su cultivo. Se evaluó el cultivo mediante un sistema de tubos de malla plástica, el cual ya ha sido empleado para otras especies de macroalgas. Los valores obtenidos del cultivo se correlacionaron con las mediciones de las variables demográficas de la especie *in situ* y las variables abióticas de temperatura, irradiancia y concentración de nitrato en el agua. El arte de cultivo se probó con tres condiciones diferentes de densidad y a dos profundidades. Finalmente se analizó el contenido de nitrógeno en el talo de la planta *in situ* y cultivada. Los organismos más grandes ocurrieron en mayo (promedio 11.2 cm) y máximo de densidad poblacional en abril (6.3 plantas por 100 cm<sup>2</sup>). El mayor crecimiento *in situ* se registró en la zona submareal en el mes de abril (7.5 % día<sup>-1</sup>). El crecimiento y rendimiento en el cultivo se obtuvo en los meses de junio a septiembre. En el sistema de cultivo superficial se registró un rendimiento de 0.31 a 0.56 kg m<sup>-2</sup> y para el cultivo sumergido el rendimiento aumentó a valores equivalentes entre 0.92 a 1.52 kg m<sup>-2</sup>. En el sistema sumergido los rendimientos fueron mayores respecto al instalado en superficie. El contenido de nitrógeno orgánico en los talos cultivados se mantuvo alrededor del 2 al 4 % en peso seco. Debido a la variación de los resultados, no se logró establecer un patrón de crecimiento, rendimiento o alguna relación con las variables abióticas. Aunque no se logró mantener el crecimiento vegetativo, *P. perforata* es factible su cultivo en la región por las características observadas en este trabajo de disponibilidad, talla, crecimiento y los rendimientos obtenidos durante los 4 meses de cultivo.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
1. Introducción.....	1
2. Objetivos .....	6
3. Materiales y métodos.....	7
3.1. Área de estudio.....	7
3.2. Registro de Variables Físicas y Químicas.....	8
3.2.1. Variables físicas y químicas ambientales .....	8
3.2.2. Contenido de nitrógeno orgánico .....	8
3.3. Características biológicas y demográficas.....	9
3.4. Cultivo .....	11
3.4.1. Arte y Sistema de cultivo .....	11
3.4.2. Colecta de planta y pretratamiento para su cultivo .....	13
3.4.3. Siembra y Cosecha.....	14
3.5. Estimación de variables .....	15
3.5.1. Crecimiento diario.....	15
3.5.2. Rendimiento Mensual.....	15
3.5.3. Rendimiento Total.....	16
3.6. Análisis Estadístico.....	16
4. Resultados.....	17
4.1. Variables Físicas y Químicas.....	17
4.2. Demografía.....	24
4.2.1. Densidad Poblacional y talla.....	24

4.2.2. Crecimiento <i>in situ</i> .....	26
4.2.3. Condición reproductiva.....	26
4.3. Cultivo.....	29
4.4. Análisis Estadístico.....	34
5. Discusión.....	37
6. Conclusión.....	43
7. Referencias.....	44

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Plantas colocadas en mallas amarradas a una roca para determinar el crecimiento <i>in situ</i> .....	10
Figura 2. Diagrama del sistema de cultivo.....	13
Figura 3. Temperaturas mensuales promedio del agua en Campo Kennedy.....	18
Figura 4. Irradiancias mensuales promedio en Campo Kennedy.....	19
Figura 5. Concentraciones mensuales de nitrato en el agua de mar en Campo Kennedy.....	20
Figura 6. Porcentaje de nitrógeno en talos colectados <i>in situ</i> en Campo Kennedy (% peso seco $\pm$ E.S).....	22
Figura 7. Porcentaje de nitrógeno en talo (peso seco $\pm$ E.S) en muestras de <i>Porphyra perforata</i> cultivada en superficie y sumergida.....	23
Figura 8. a) Densidad ( $\pm$ D.E) y b) tallas de <i>Porphyra perforata in situ</i> . Campo Kennedy, Baja California.....	25
Figura 9. Crecimiento individual ( $\pm$ D.E) de <i>Porphyra perforata</i> en tres niveles: a)intermareal, b)submareal superficial y c)submareal 2 metros debajo de la superficie.....	27
Figura 10. Condición reproductiva de <i>Porphyra perforata in situ</i> colectada en Campo Kennedy.....	28
Figura 11. Crecimiento promedio diario ( $\pm$ E.S) de <i>Porphyra perforata</i> en tubos de malla plástica (sistema superficial y sumergido).....	30
Figura 12. Rendimiento ( $\pm$ E.S) obtenido de <i>Porphyra perforata</i> en tubos de malla plástica (sistema en superficie y sumergido).....	31
Figura 13. Rendimientos totales en los dos sistemas de cultivo (superficial y a profundidad) durante la temporada 2000.....	33

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla I. Fechas en las que se realizaron las pruebas de cultivo.....	12
Tabla II. Correlación entre los factores abióticos (temperatura, irradiancia y concentración de nitrato en el agua) con variables demográficas.....	35
Tabla III Correlación de variables ambientales con las cantidades probadas en el cultivo superficial.....	36

## 1. Introducción

La posibilidad de desarrollar el maricultivo de macroalgas, ha provocado en las últimas décadas un creciente interés de estudio. El maricultivo presenta varias ventajas para el desarrollo industrial ya que asegura el abastecimiento de materia prima de forma continua. Además, se puede incrementar los rendimientos y calidad del producto mediante el mejoramiento e innovación de las técnicas y artes de cultivo. Por otro lado, puede representar una alternativa económica para pescadores y maricultores.

Dentro de las macroalgas de importancia comercial se encuentra el alga roja (Rhodophyta) *Porphyra*, la cual se conoce comúnmente como "Nori" en Japón. A nivel mundial se han identificado aproximadamente 100 especies diferentes de *Porphyra* (Kito y Kawamura, 1999) que se usan como alimento humano principalmente en hojas de "sushi"; como importante fuente de proteínas en forma de harina, sal o saborizante, y muchos de sus derivados tienen una gran aplicación en la industria farmacéutica para vitaminas, pigmentos y productos bioquímicos (Yarish *et al.*, 1998).

Los japoneses desde hace más de 300 años cultivan y explotan *Porphyra*. En un principio utilizaban para su cultivo, varas de bambú en estuarios someros para captar las esporas. Más tarde los chinos emplearon un método que consistió en una simple recolecta y limpiado de rocas. A principios del siglo XX,

se iniciaron los cultivos de láminas de *Porphyra* sobre redes flotantes (Grobe *et al.*, 1998); lo cual incrementó los niveles de producción (Kito y Kawamura, 1999).

Actualmente *Porphyra* se cultiva comercialmente en China, Corea, Japón y en Norteamérica donde se ha convertido en una industria multimillonaria (Grobe *et al.*, 1998). En Japón, el consumo estimado de *Porphyra* es de 100 hojas por persona al año con una producción anual 5,000 millones de hojas en 1970 y 9,000 millones en 1980 (Kito y Kamura, 1999). Durante 1996, se produjeron 44,000 toneladas secas de *Porphyra* con un valor de 1,600 millones de dólares (Levine, 1998). Debido a la creciente demanda del producto en los últimos años, fue necesario la incorporación y desarrollo de sistemas de cultivo en océano abierto (Kito y Kawamura, 1999).

Japón, uno de los países con mayor desarrollo en el cultivo de *Porphyra*, utiliza básicamente dos formas de cultivo: el sistema de postes y el flotante (Kito y Kawamura, 1999). China utiliza un método "semi-flotante", combinación de lo empleado en Japón (Fei *et al.*, 1998). La experiencia de los países orientales sirvió para que en el noreste de Estados Unidos de Norteamérica, también se desarrollara el cultivo comercial de esta alga (Levine, 1998). Los estudios sobre el cultivo comercial de *Porphyra* se han centrado principalmente en especies como *Porphyra tenera* (Kjellman), *Porphyra yazoensis* (Ueda) y en países

como China, Corea, Japón y Estados Unidos de Norteamérica (Mumford y Miura, 1988, Kito y Kamura, 1999).

En México, el desarrollo del cultivo comercial de algas marinas ha adquirido importancia centrándose en especies que puedan fortalecer la industria de las algas. Zertuche-González *et al.* (1999) describe una metodología de cultivo exitosa para *Euclima uncinatum* (Setchell y Gardner) y *Chondracanthus pectinatus* (Dawson) L. Aguilar y R. Aguilar la que puede adaptarse para cultivo de otras especies de aguas frías o templadas. Esta técnica permite realizar la siembra de la planta en su fase foliar y mantenerla en crecimiento vegetativo.

La costa Noroccidental de la Península de Baja California cuenta con varias especies de *Porphyra* que crecen en láminas delgadas adheridas a las rocas (Aguilar-Rosas *et al.*, 1982). La más abundante es *P. perforata* la cual, de asegurarse el abasto y por demanda comercial, puede aprovecharse e integrar la especie al mercado de explotación de algas. *P. perforata* se distribuye en una franja angosta del intermareal en zonas frecuentemente expuestas, de difícil acceso. Su biomasa, con valores máximos a finales de primavera, presenta una variación estacional (Pacheco-Ruíz *et al.*, 1986), por lo que para su aprovechamiento se requeriría de su cultivo en épocas adecuadas. Sin embargo no se cuentan con los estudios suficientes sobre su biología y

ecología, necesarios para implementarlo. De aquí el interés del presente estudio.

Hasta ahora los estudios sobre *P. perforata* describen sus características generales de color, hábitat, forma, sexualidad (Dawson, 1952, Abbott y Hollenberg, 1976), su distribución (Aguilar-Rosas *et al.*, 1982) y variación estacional (Pacheco-Ruíz *et al.*, 1986). Debido a su importancia comercial, también se han realizado estudios sobre su cultivo a partir de carposporas obtenidas de talos maduros fértiles en el laboratorio (Hollenberg, 1958, Waaland *et al.*, 1990, Salgado-Rogel y Zertuche-González, 2001). Sin embargo, no se cultiva comercialmente en la actualidad.

Para proponer un cultivo es necesario considerar ciertas condiciones de la planta así como realizar algunas observaciones y experimentos. Estas consideraciones permiten elaborar las estrategias y estudios para la domesticación de plantas "cultivables" (Yarish *et al.*, 1998, Lobban y Harrison, 1994). La planta deberá tener una tasa de crecimiento alta, una permanencia en el medio a lo largo del año, y características reproductivas que permitan garantizar cepas en cualquier momento (Zertuche-González, 1989).

Este trabajo, con el fin de evaluar la factibilidad biológica y técnica del cultivo de *P. perforata* en Ensenada, Baja California, México., compara los

valores de las variables demográficas (densidad, talla, crecimiento diario, estado reproductivo y contenido de nitrógeno orgánico) de una población de *P. perforata* "in situ" con los resultados del cultivo en tubos de malla plástica. Además se consideró su relación con variables abióticas como temperatura, irradiancia y la concentración de nitrato en el agua.

Por ello la hipótesis es que *P. perforata*, por sus apropiadas características de crecimiento y permanencia, se distingue como una especie ideal para el cultivo. Por lo tanto una opción posible es el uso de tubos de malla plástica utilizado con éxito en otras especies (Zertuche-González *et al.*, 2001).

## 2. Objetivos

Evaluar la factibilidad técnica del cultivo vegetativo de *P. perforata*, mediante el método de tubo de malla plástica bajo tres condiciones diferentes de densidad y dos profundidades.

Correlacionar el crecimiento de *P. perforata* en cultivo con variables demográficas (densidad poblacional, estado reproductivo, talla y crecimiento) de la especie y variables abióticas (temperatura, irradiancia y concentración de nitrato en el agua) durante un año.

### **3. Materiales y métodos**

#### **3.1 Área de estudio**

La zona de estudio y de cultivo se localizó en Campo Kennedy, municipio de Ensenada, B.C. México, donde la línea de litoral forma una pequeña bahía. Esta zona se ubica en la parte exterior de la Bahía de Todos Santos en la península de Punta Banda a los  $31^{\circ} 41.96' N$  y  $116^{\circ} 40.90' W$ . El asentamiento más próximo a la zona es "La Bufadora", localizado a 4 kilómetros al norte sobre el litoral y limitado por la caleta de Puerto Escondido; hacia el sur, no existen asentamientos de importancia.

El litoral de Campo Kennedy está formado por rocas volcánicas prebatolíticas que forman cantiles con alturas de 10 metros aproximadamente y donde hay tres pequeñas playas de bolsillo compuestas por canto rodado. A una distancia de 15 metros de la orilla se localiza la isobata de los 8 metros, de ahí en adelante la pendiente es pronunciada, encontrándose a una distancia de 100 metros de la costa, una profundidad de 30 metros. El oleaje que incide en la zona proviene del suroeste y es común la ocurrencia de surgencia (González-Morales y Gaxiola-Castro, 1991).

## 3.2 Registro de Variables Físicas y Químicas

### 3.2.1 Variables físicas y químicas ambientales

Se registró cada hora, la temperatura del agua y la luz ambiental mediante un termógrafo (Modeloptic StowAway Temp de marca OnSet), instalado en la unidad de cultivo a 1 m de profundidad, y un irradiómetro (LI-1000 Data Logger marca Li-cor) instalado en una consola en tierra. Ambos registros se promediaron mensualmente de Julio 1999 a Octubre 2000.

Mensualmente se colectó una muestra de agua en un tubo de 45 ml (tipo falcom) y se congeló "*in situ*". Posteriormente se realizó el análisis de nitrato para cada muestra en un aparato de inyección de flujo continuo (QuikChem 8000).

### 3.2.2 Contenido de nitrógeno orgánico

Cada mes se determinó el contenido de nitrógeno (%) en muestras de plantas *in situ* y cultivadas. Las plantas se colectaron, limpiaron manualmente y se les eliminó el exceso de agua con papel secante. Posteriormente se colocaron las muestras en la estufa a una temperatura de 60°C hasta obtener peso seco constante. A las muestras de planta seca, se determinó el porcentaje de nitrógeno mediante el método Microkjeldahl (Blaedel y Meloche, 1957). Se analizaron 3 réplicas por muestra mensual y se utilizaron estándares de lisina y sulfato de amonio.

### 3.3 Características biológicas y demográficas

*Densidad poblacional, estado reproductivo, talla y crecimiento.*

Se realizó un muestreo mensual aleatorio estratificado, dentro de la franja de distribución de *P. perforata* (entre los 0.5 a 1 metros de la zona intermareal del área de estudio), con un cuadrante de 10 x 10 cm para estimar la densidad poblacional (número de plantas · 100 cm<sup>2</sup>) *in situ*, la cual se realizó de mayo de 1999 hasta mayo del 2000. Se colectaron muestras individuales de ejemplares de *P. perforata* para observar su estado reproductivo en el tiempo según el criterio de Pacheco-Ruiz *et al.* (1986). Una vez colectados los ejemplares se midieron desde la base hasta la parte distal para registrar la talla (n=150).

El crecimiento se determinó mediante el peso húmedo evaluado en plantas individuales colocadas en bolsas de malla amarradas a una roca con red en la franja de distribución (Fig. 1). Para registrar el crecimiento en el submareal se colocó una cuerda vertical en un extremo de la unidad de cultivo con un peso muerto en el fondo. Esta cuerda se mantuvo con cuatro bolsas (iguales que las del experimento anterior) en superficie, con un ejemplar en su interior cada una, y otras cuatro bolsas a una profundidad de dos metros debajo de la superficie.



**Figura 1. Plantas colocadas en mallas amarradas a una roca para determinar el crecimiento *in situ***

### 3.4 Cultivo

#### 3.4.1 Arte y Sistema de cultivo

El cultivo de *P. perforata* en este estudio, se realizó mediante la metodología propuesta por Zertuche-González *et al.* (1999) empleada para el cultivo de *C. pectinatus* y *E. uncinatum*. Como arte de cultivo se utilizaron tubos de red de malla plástica de polipropileno con un diámetro de 7.5 cm, 12 nudos perimetrales y longitud de 4 m, dando una luz de malla de 3 cm.

El arte de cultivo se suspendió en un sistema que fue instalado en el mar. Para mantener fijo el sistema de cultivo, se colocaron en el fondo pesos muertos para anclar cada extremo de los dos sistemas mediante buceo autónomo. Uno de los anclajes se colocó de manera que permitió flotar en superficie el arte de cultivo y el sistema sumergido se mantuvo a dos metros por debajo de la superficie (Fig. 2).

El sistema en superficie consistió en un rectángulo de 5 x 10 m de cuerda colocado paralelo al oleaje. En los extremos y centro del rectángulo de cuerda se instalaron barrotes de madera de 5 x 5 cm, lo que mantuvo la forma del sistema. Finalmente se colocaron boyas en los extremos y contorno de la unidad.

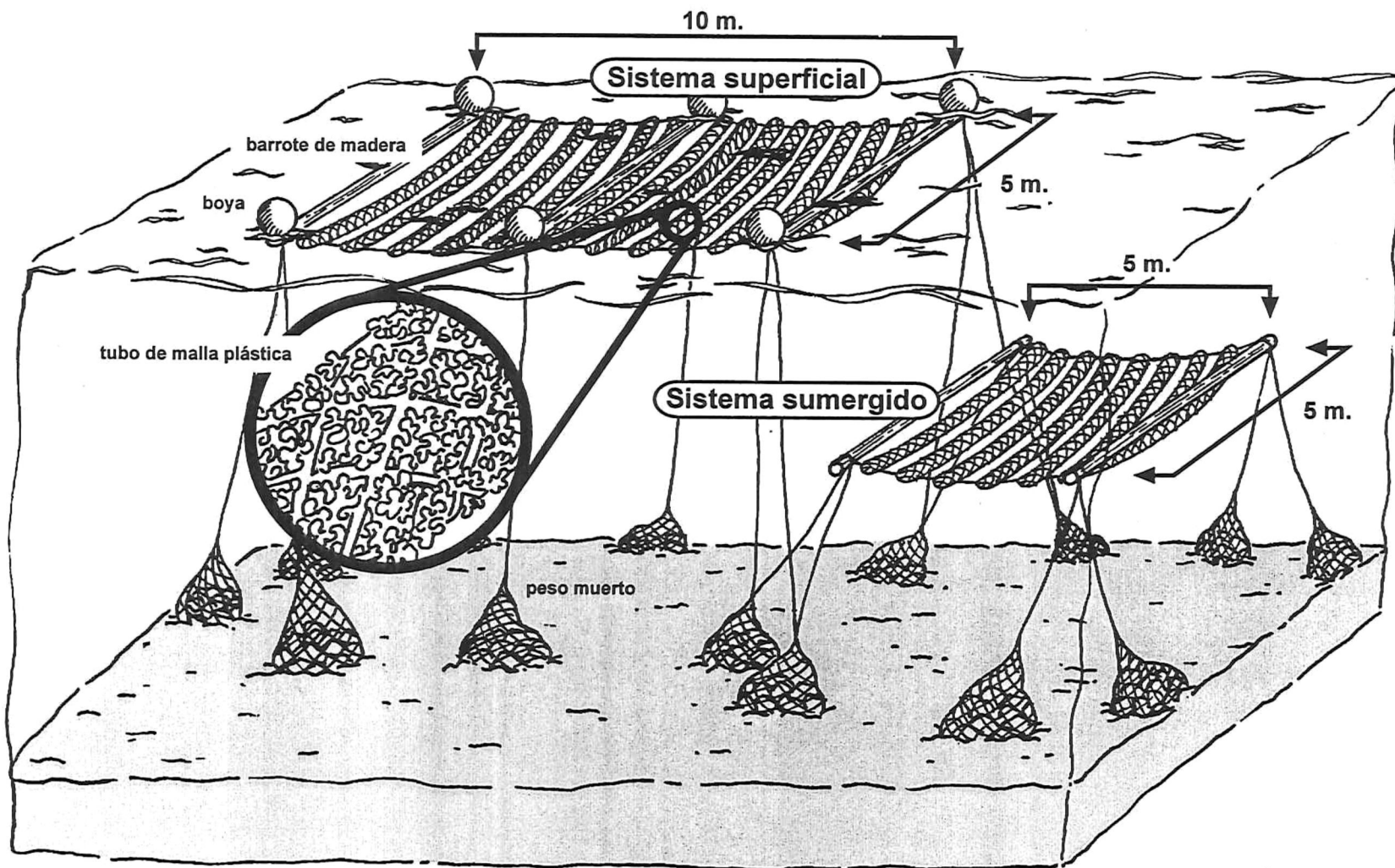


Figura 3. Diagrama del sistema de cultivo.

El sistema sumergido se redujo a un tamaño de 5 x 5 m de cuerda y se ancló de manera que permitiera subir a la superficie con facilidad los tubos de malla. De igual manera se colocaron barrotes de madera de 5 x 5 cm para que no se deformara el sistema.

Las pruebas de cultivo se realizaron en periodos de 26 días entre 1999 y en 2000. En 1999 el cultivo duró cinco periodos (sistema superficial), mientras que para el 2000, se probaron seis periodos. El cultivo sumergido se probó durante el 2000, en cuatro periodos (Tabla I).

Tabla I. Fechas en las que se realizaron las pruebas de cultivo.

1999		2000	
SIEMBRA	COSECHA	SIEMBRA	COSECHA
13 mayo	10 junio	13 abril	10 mayo
11 junio	15 julio	11 mayo	7 junio
16 julio	13 agosto	8 junio	6 julio
14 agosto	9 septiembre	7 julio	4 agosto
10 septiembre	11 octubre	5 agosto	27 septiembre
12 octubre	8 noviembre		

#### 3.4.2 Colecta de planta y pretratamiento para su cultivo

En la zona intermareal de Campo Kennedy, se colectaron 25 kilos de *P. perforata*. La colecta se realizó en junio de 1999 y en abril en el 2000, además de los meses cuando fue necesario completar el peso de siembra. Posteriormente, la planta colectada se trasladó al Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California, donde se colocó en tanques de capacidad de 1 m<sup>3</sup>, en estos las plantas se sometieron a un

tratamiento con 0.5 mM de nitrato ( $\text{KNO}_3$ ) y 0.05 mM ácido fosfórico neutralizado (pentóxido de fosforo) (Zertuche-González *et al.*, 2001). La fertilización se realizó el día anterior de la siembra con la finalidad de proporcionar a la planta reservas de nutrientes que le sirvieran mientras se acondicionara al sistema de cultivo de tubos de malla plástica.

### 3.4.3 Siembra y Cosecha

Después del pretratamiento con nutrientes se llenaron los tubos de malla plástica de 4 m. de longitud con la planta. Se probaron tres condiciones de peso inicial diferente. Se utilizaron densidades de 750 g (equivalentes a  $188 \text{ g m}^{-1}$ ) densidad 1. La densidad 2 fue de 1,500 g ( $375 \text{ g m}^{-1}$ ) y densidad 3 de 2,250 g por tubo ( $563 \text{ g m}^{-1}$ ). Por cada densidad se colocaron 5 réplicas tanto en superficie como en el sistema sumergido.

Una vez registrados los pesos de cada tubo, éstos se trasladaron, en hieleras hasta el área de cultivo. Donde tres personas realizaron las labores de siembra. El cultivo de *P. perforata* se mantuvo en la unidad de cultivo por aproximadamente 26 días. Después el material se cosechó siguiendo la metodología de Zertuche-González *et al.* (1999). Finalmente se registró el pesos húmedo en una báscula de precisión ( $\pm 10 \text{ g}$ ) y las algas cosechadas se utilizaron para la siguiente siembra, previamente el material se sometió al pretratamiento con nutrientes ya descrito.

### 3.5 Estimación de variables

#### 3.5.1 Crecimiento diario

Con los valores de peso húmedo obtenidos, se calculó el crecimiento diario *in situ* y en cultivo (superficie y sumergido), con la ecuación de crecimiento específico basada en una función logarítmica (Zertuche-González, 1989):

$$r = ((\ln W_t - \ln W_o) / t) * 100$$

donde r = crecimiento (%crec/día)

W<sub>t</sub> = biomasa (g) en el tiempo t

W<sub>o</sub> = biomasa inicial (g)

t = período de cultivo (días)

#### 3.5.2 Rendimiento mensual

El rendimiento mensual correspondió al incremento de biomasa en un período 26 días de cultivo y se calculó con la diferencia entre el peso final y el peso inicial. Éste se expresó en los gramos de material obtenido por tubo en cada cosecha a lo largo del año.

$$\text{Rend} = W_t - W_o$$

Rend = Rendimiento

W<sub>t</sub> = biomasa (g) en el tiempo t

W<sub>o</sub> = biomasa inicial (g)

### 3.5.3 Rendimiento total

El rendimiento total es la suma de los rendimientos mensuales en cada sistema de cultivo (en superficie o sumergido) durante la temporada de cultivo.

## 3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A los valores promedio de cada variable se aplicó el coeficiente de correlación ("r"), cuyos resultados fueron comparados en tablas estableciendo un nivel de significancia del 95% ( $\alpha=0.05$ ) (Zar, 1984).

La concentración de nitrógeno orgánico entre el grupo experimental (planta cultivada) y el grupo control (planta *in situ*) se compararon a través de la prueba "t" de student que permitió analizar la significancia encontrada entre las dos medias (Zar, 1984).

## 4. Resultados

### 4.1 Variables Físicas y Químicas

La temperatura máxima del agua registrada en Campo Kennedy correspondió a 17.9°C en septiembre de 2000 (verano). Durante marzo 2000 (primavera) se registró un valor de 13.0 °C que fue la temperatura mínima del agua para este año. Los valores detectados, en 2000, fueron mayores que los del año anterior para los mismos meses (Fig. 3).

La irradiancia se incrementó a partir del mes de enero (invierno). Durante abril 2000 se detectó el valor máximo de 983.5  $\mu\text{MQm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (primavera). La cantidad mínima de irradiancia en el área de 497.0  $\mu\text{MQm}^{-2}\text{s}^{-1}$  correspondió al mes de diciembre (Fig. 4).

La máxima concentración de nitrato en el agua (9.9 y 17.5  $\mu\text{M}$ ) se registró en junio de 1999 y 2000 (verano). En agosto y octubre (verano y otoño) de 2000 los valores mínimos de concentración no fueron detectables (Fig. 5).

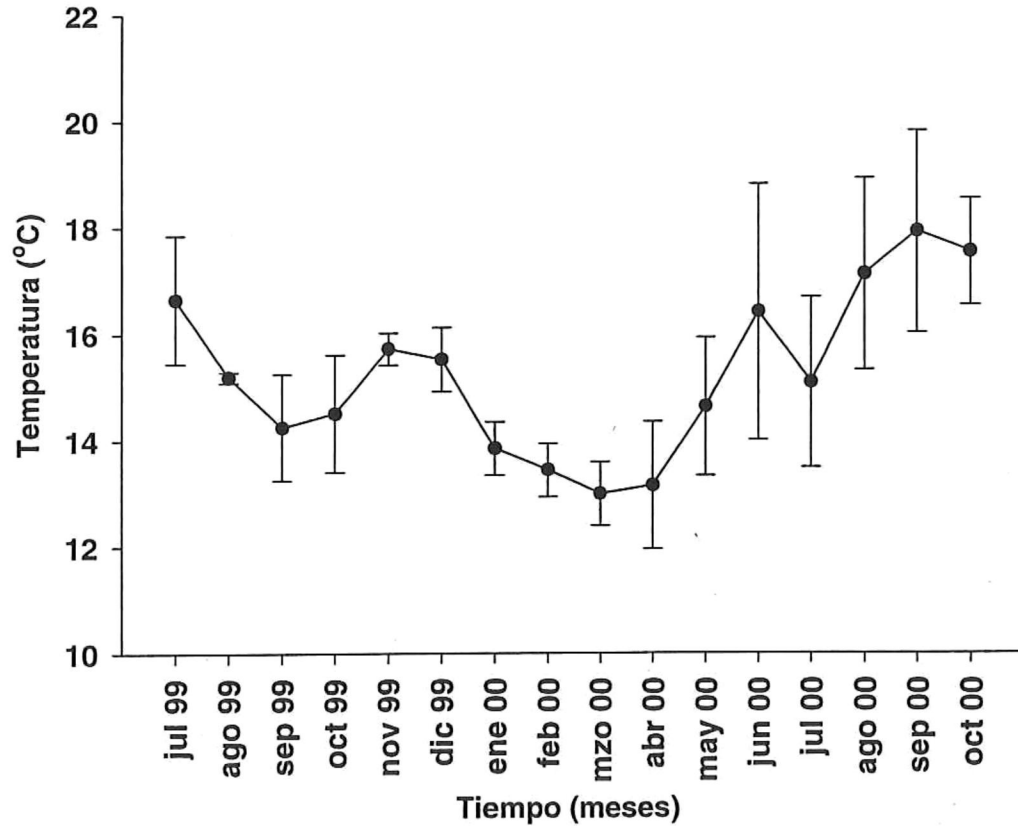


Figura 3. Temperaturas mensuales promedio del agua en Campo Kennedy. La barra vertical indica la desviación estandar.

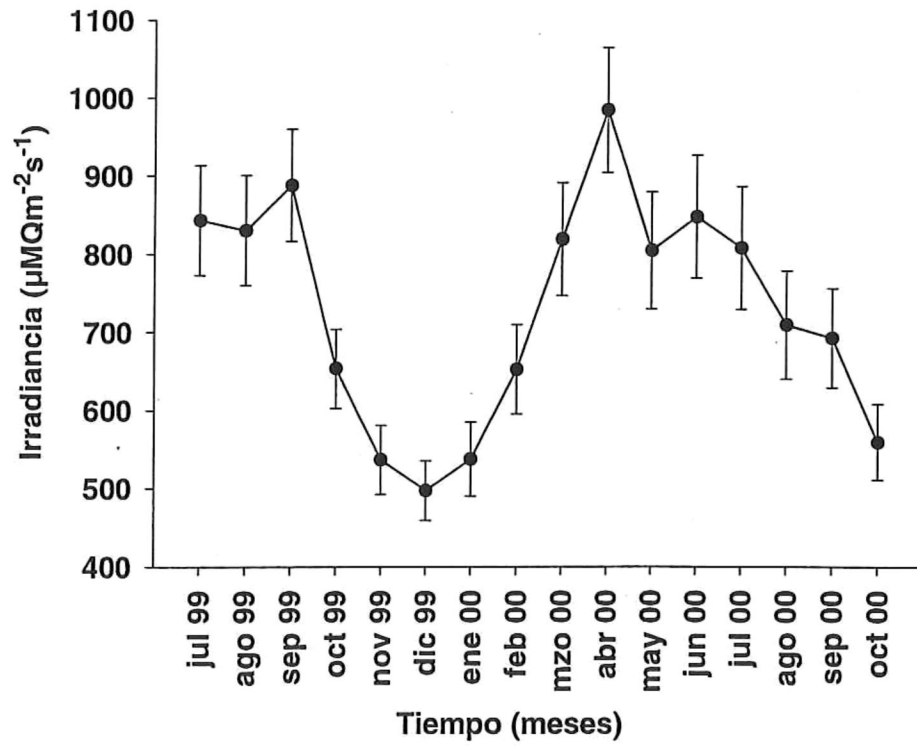


Figura 4. Irradiancias mensuales promedio en Campo Kennedy. La barra vertical indica la desviación estandar.

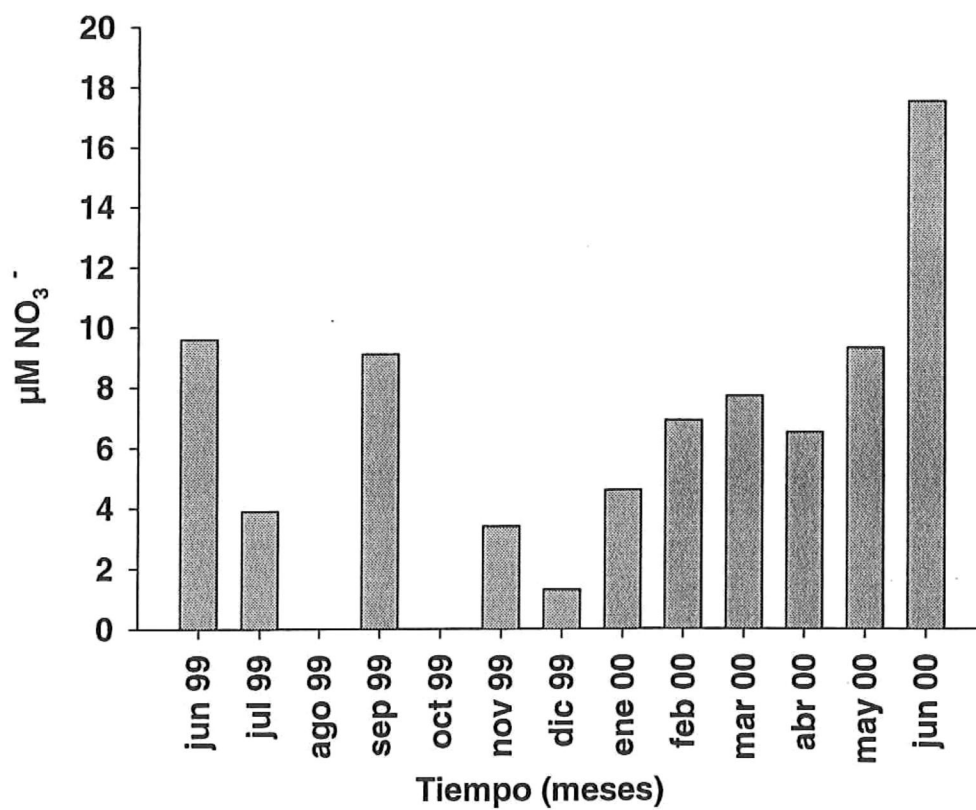


Figura 5. Concentraciones mensuales de nitrato en el agua de mar en Campo Kennedy.

El porcentaje de nitrógeno orgánico en las muestras analizadas de plantas *in situ* cambió con el tiempo. En diciembre 1999 (invierno) se registró el mayor porcentaje de nitrógeno en talo correspondiente a 7.4 % peso seco. El valor mínimo fue de 2.8 % N peso seco en agosto de 2000 (verano). Durante el año 1999 los valores registrados fueron mayores al 4.0 % N y en 2000 los valores fueron menores a partir de junio hasta noviembre (Fig. 6).

El porcentaje de nitrógeno orgánico en talos cultivados en el sistema sumergido fue mayor que los cultivados en superficie. El porcentaje mínimo de nitrógeno en talo coincidió en las muestras analizadas del mes de julio tanto en planta cultivada en superficie como sumergida. En talos cultivados en superficie se detectó el mayor porcentaje de nitrógeno en octubre, con un valor de 3.3 % N y el valor mínimo de 2.8 % N durante julio. El porcentaje de nitrógeno, en los talos del cultivo sumergido, fue máximo de 3.3 % N en agosto y mínimo de 3.1 % N en la muestra de julio (Fig. 7).

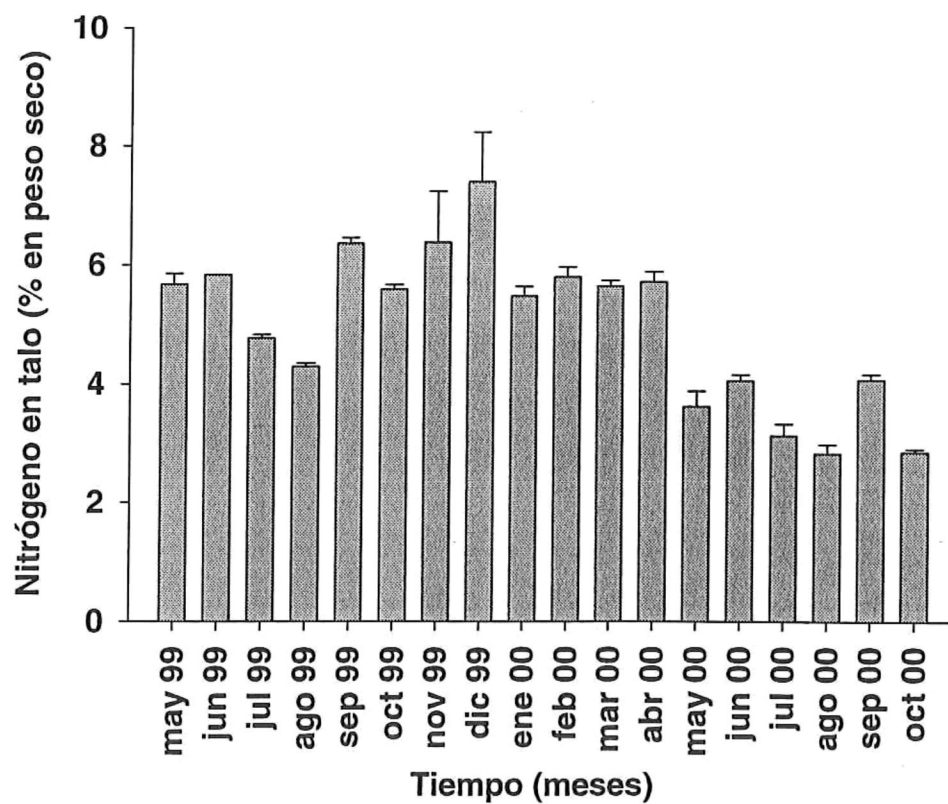


Figura 6. Porcentaje de nitrógeno orgánico en talos de *P. perforata* colectados *in situ* en Campo Kennedy (% peso seco  $\pm$  E.S).

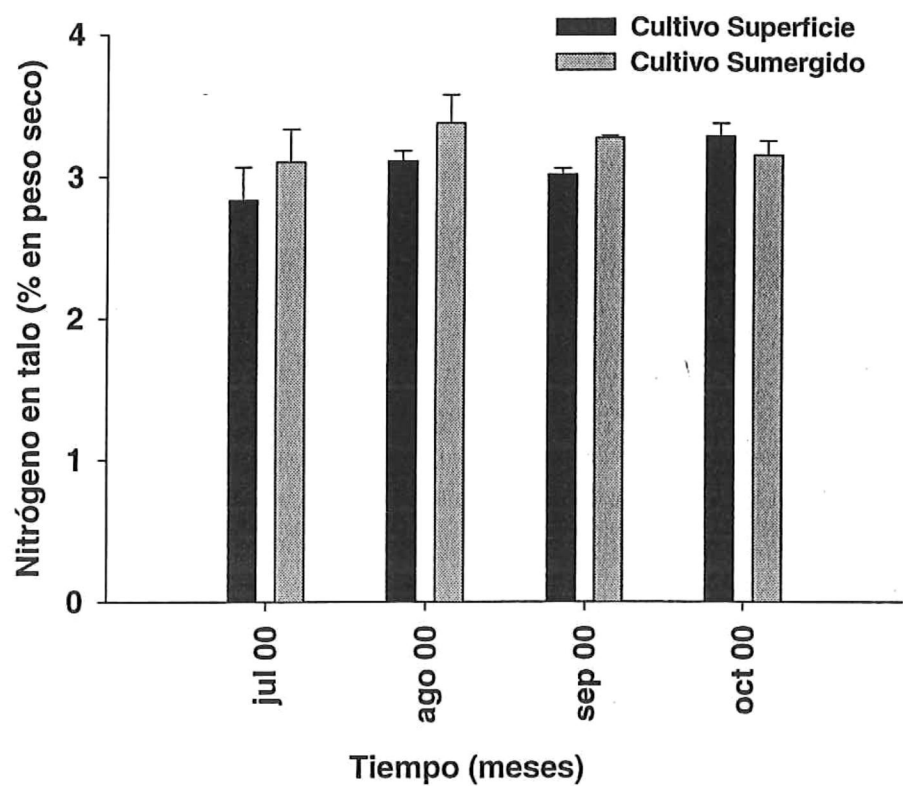


Figura 7. Porcentaje de nitrógeno orgánico en talo (peso seco  $\pm$  E.S) en muestras de *P. perforata* cultivada en superficie y sumergida.

## 4.2 Demografía

### 4.2.1 Densidad poblacional y talla

*P. perforata* aparece en marzo (principios de primavera) hasta tener máximos de densidad a comienzo de junio (verano). La mínima densidad poblacional se observó en febrero (invierno) de 2000 con 0.06 plantas·100 cm<sup>-2</sup>. El valor máximo correspondió al mes de abril (primavera) donde se detectó 6.3 plantas·100 cm<sup>-2</sup> (Fig. 8a).

Durante mayo (verano) 1999 se observó la talla máxima de 37 cm. El promedio, en este mes, de tallas fue 11.2 cm. El promedio se redujo a partir de agosto 1999 hasta encontrar los registros de tallas mínimas de 0.03 cm para marzo 2000, que fue cuando se encontró una constante. Posteriormente los tamaño promedio se incrementaron hasta alcanzar 15 cm promedio (Fig. 8b).

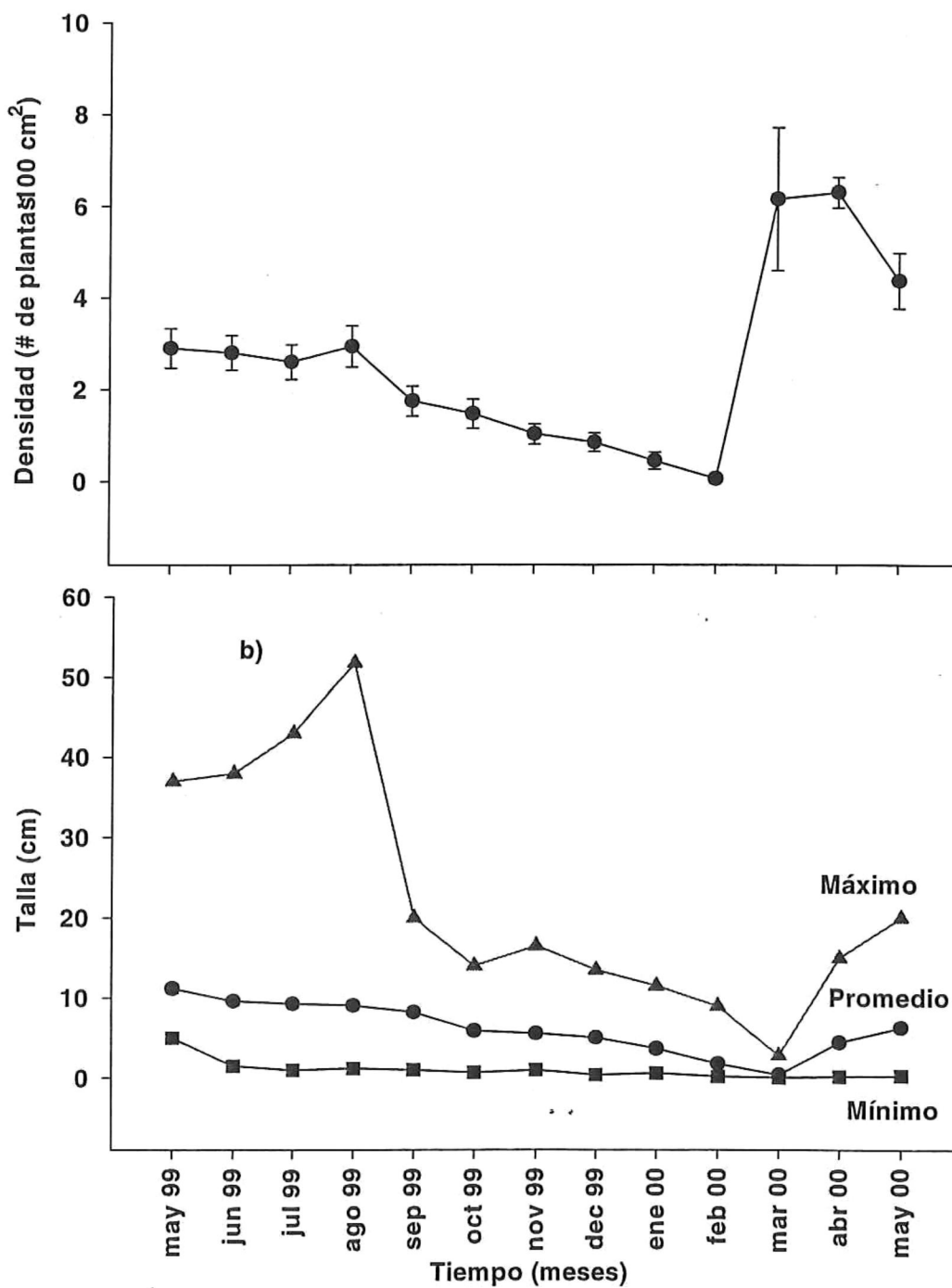


Figura 8. a) Densidad ( $\pm$ D.E) y b) tallas de *P. perforata in situ*. Campo Kennedy, Baja California.

#### 4.2.2 Crecimiento *in situ*

La tendencia de crecimiento *in situ* de *P. perforata* a los tres niveles fue similar, donde los mayores crecimientos se presentaron durante abril, mayo y junio (primavera-verano). A partir de octubre (otoño) hasta febrero (invierno) la mayoría de los valores detectados fueron negativos. Para 1999 el mayor crecimiento en el nivel intermareal de 6.0% día<sup>-1</sup> se registró en mayo (verano), para la planta situada en el submareal el máximo fue en abril con crecimiento de 7.5% día<sup>-1</sup> y para la planta de submareal a 2 metros de profundidad fue de 6.0% día<sup>-1</sup> en julio (Fig. 9).

#### 4.2.3 Condición reproductiva

El mayor porcentaje de plantas reproductivas se localizó entre octubre (otoño) de 1999 a enero (invierno) de 2000. El menor se presentó de febrero (invierno) a abril (primavera) de 2000.

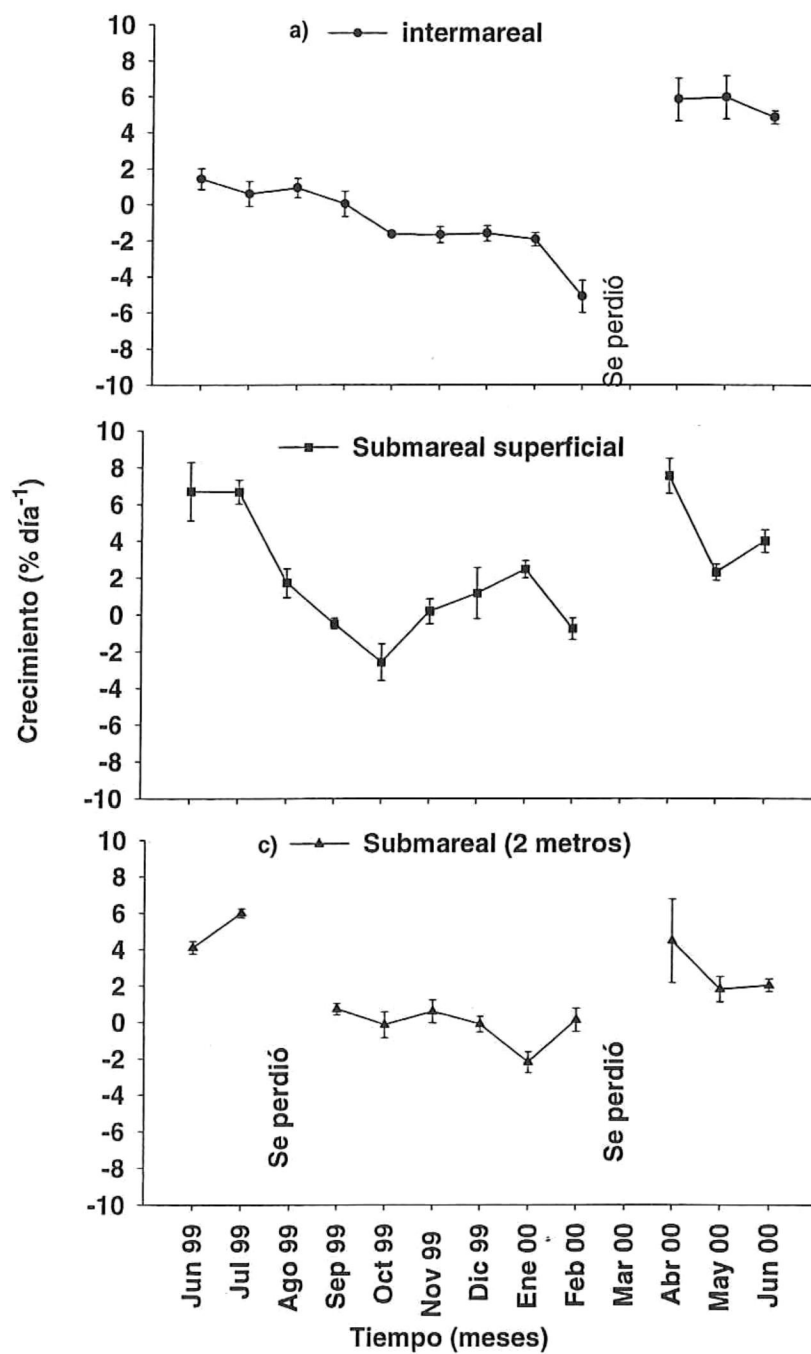


Figura 9. Crecimiento individual ( $\pm$ D.E) de *P. perforata* en tres niveles:  
 a) intermareal, b) submareal superficial y c) submareal 2 metros debajo de la superficie.

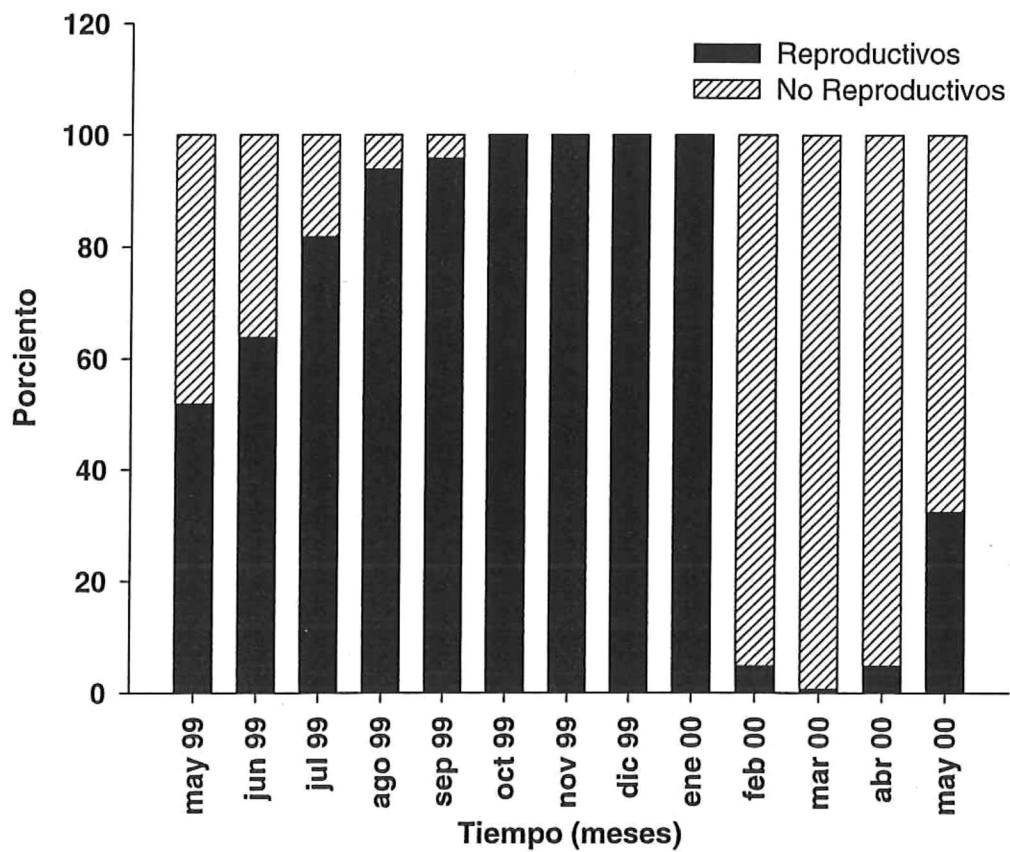


Figura 10. Condición reproductiva de *P. perforata in situ* colectada en Campo Kennedy.

### 4.3 Cultivo

Crecimiento en *P. perforata* en condiciones de cultivo, se observó únicamente en verano. En el sistema superficial el máximo crecimiento se obtuvo en julio 1999 y julio 2000 (verano) en las tres densidades probadas. De octubre (otoño) en adelante, se observó una disminución en la tasa de crecimiento en la planta cultivada. A finales del otoño y en invierno no se detectó crecimiento. En el cultivo sumergido, se registraron crecimientos positivos en tres cosechas continuas. El mayor porcentaje de crecimiento fue de 2.0 % correspondiente al mes de julio (verano) 2000 en la densidad 2. Durante los meses de agosto y septiembre (otoño) se registró el valor mayor de crecimiento en la densidad 1, que correspondió al 1 % día<sup>-1</sup> (Fig. 11).

El mayor rendimiento en ambos sistemas de cultivo se detectó en julio (verano) de 1999 y 2000 en la densidad 2. En el cultivo en superficie, solo se detectó rendimiento durante 4 meses (junio a agosto 2000). En el cultivo sumergido se presentó la misma tendencia pero con un mes de retraso (julio a septiembre 2000) (Fig. 12).

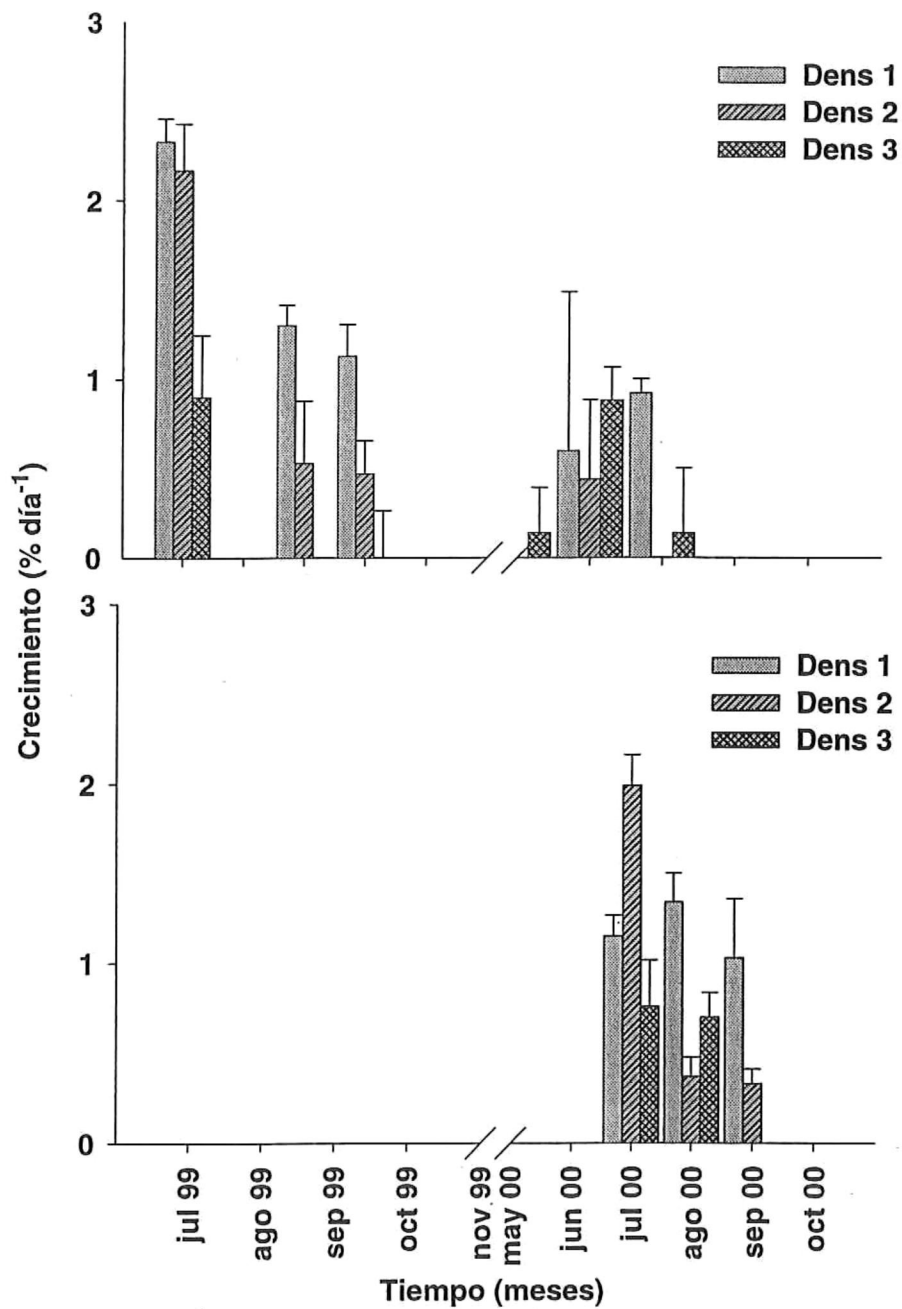


Figura 11. Crecimiento promedio diario ( $\pm$  E.S) de *P. perforata* en tubos de malla plástica. A) Cultivo superficie, b) Cultivo Sumergido.

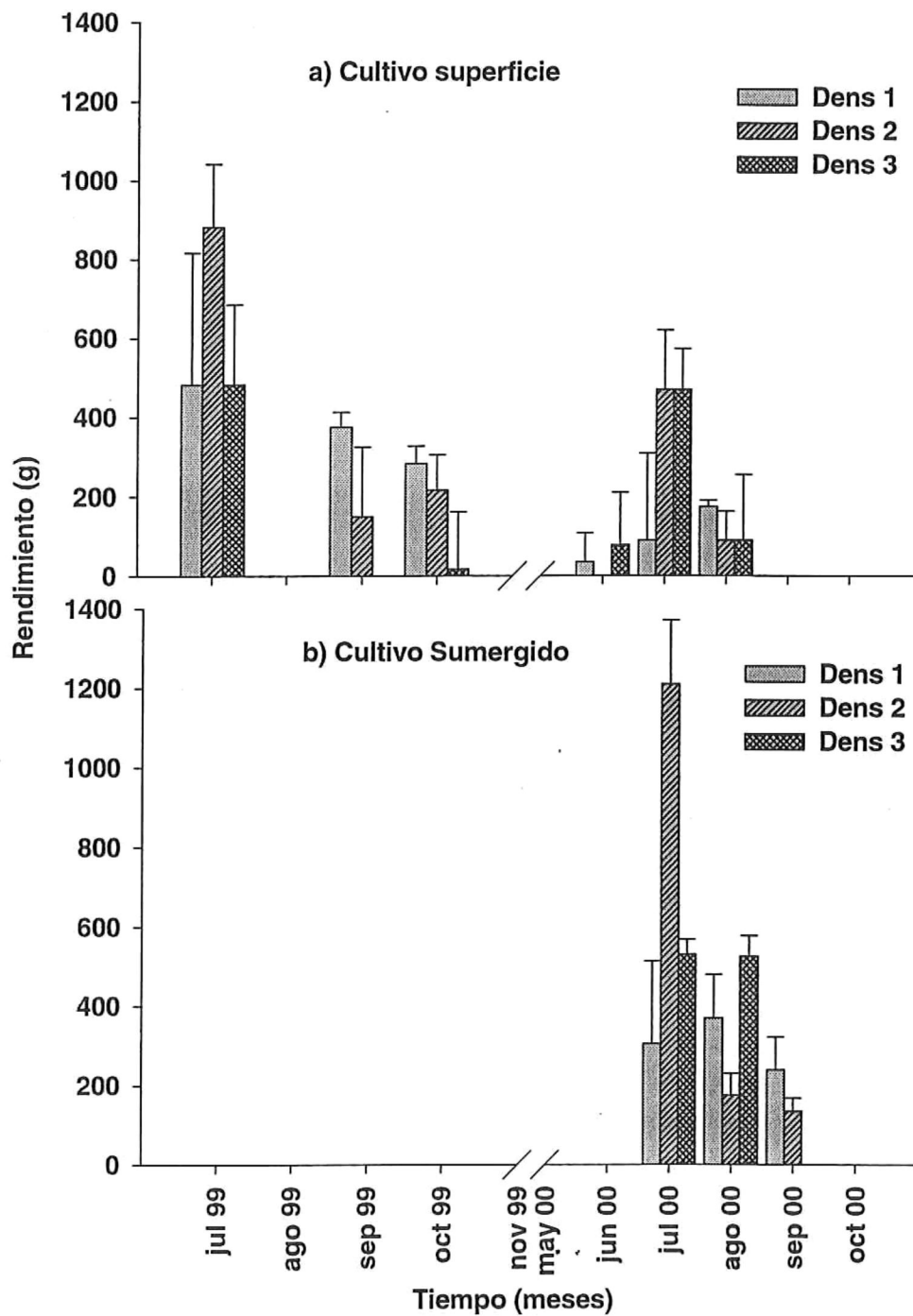


Figura 12. Rendimiento ( $\pm$  E.S) obtenido de *P. perforata* en tubos de malla plástica. A) Cultivo superficie, b) Cultivo Sumergido.

Los rendimientos totales en los 4 meses de cultivo en superficie, fueron 1,005 g en una unidad de cultivo de 5 m<sup>2</sup>. Para el cultivo a profundidad el rendimiento total fue 3,490 g (Fig. 13).

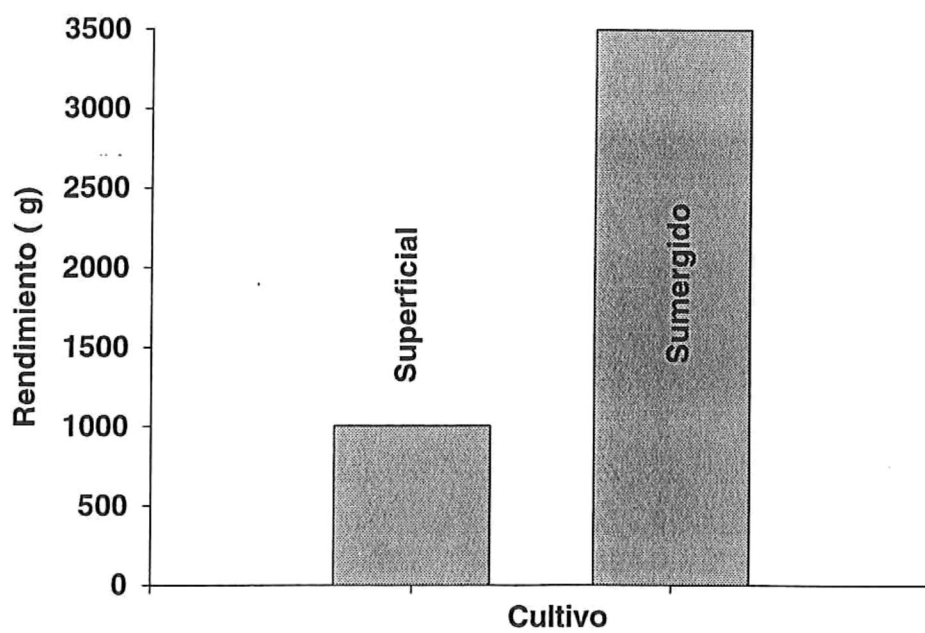


Figura 13. Rendimiento total en los dos sistemas de cultivo (superficial y sumergido) durante la temporada 2000.

#### 4.4 Análisis estadístico

De acuerdo al análisis estadístico se observa que la temperatura tiene una asociación significativa con la talla y la reproducción bajo condiciones *in situ*. La densidad y el crecimiento de la planta *in situ* tiene una asociación significativa con la irradiancia (Tabla II).

El crecimiento de la planta en cultivo no presentó ninguna asociación significativa con factores abióticos (Tabla III).

El nitrógeno orgánico en *P. perforata* no presentó diferencia significativa ( $p=0.045$ ) entre las muestras analizadas en condiciones de cultivo e *in situ* ( $\alpha=0.05$ ), ni en el tiempo.

Tabla II. Correlación entre los factores abióticos (temperatura, irradiancia y concentración de nitrato en el agua) con las variables demográficas (s=significativo, ns=no significativos).

<b>Variables <i>in situ</i></b>	<b>r</b>	<b>Sig/ No significativo</b>	<b>n</b>
Dens vs temp	-0.3424	NS	13
Talla vs temp	0.6257	S	13
Crec vs temp	-0.03713	NS	12
Reprod vs temp	0.6444	S	13
Dens vs irrad	0.7526	S	11
Talla vs irrad	0.2624	NS	11
Crec vs irrad	0.6978	S	11
Reprod vs irrad	-0.04631	NS	11
Dens vs nitrato	0.3250	NS	11
Talla vs nitrato	-0.1071	NS	11
Crec vs nitrato	0.3214	NS	11
Reprod vs nitrato	-0.5272	NS	11

Tabla III Correlación de las variables ambientales con las cantidades probadas en el cultivo superficial (s=significativo, ns=no significativos).

<b>Variables</b>	<b>r</b>	<b>Sig/No significativo</b>	<b>n</b>
Dens 1 vs temp	0.03870	NS	6
Dens 2 vs temp	0.09310	NS	4
Dens 3 vs temp	0.0457	NS	5
Dens 1 vs irrad	0.0868	NS	6
Dens 2 vs irrad	0.3166	NS	4
Dens 3 vs irrad	0.6349	NS	5
Dens 1 vs nitrato	-0.8344	NS	5
Dens 3 vs nitrato	-0.0452	NS	4

## 5. Discusión

Los resultados del presente estudio indican que *P. perforata* es una especie adecuada para cultivarse en Campo Kennedy, tanto por sus características biológicas, las condiciones fisicoquímicas del medio y su respuesta de manejo en arte de cultivo, con limitantes a considerar. Los estudios y observaciones permitieron establecer la relación entre la población natural de *P. perforata* en Campo Kennedy con otras especies de *Porphyra* utilizadas y domesticadas para cultivo en Oriente y Estados Unidos de Norteamérica para finalmente presentar una nueva opción de cultivo para *P. perforata*.

La irradiancia no resultó ser un factor limitante para las poblaciones de *P. perforata*, sin embargo, la interacción de temperatura, fotoperíodo y nutrientes, provoca la variación de la abundancia de la fase foliar en el medio (Cole y Conway, 1980) lo que limita su presencia en un lapso de mayo a septiembre. Ésta tendencia en la ocurrencia de *P. perforata* se ha registrado para otras especies como *P. yezoensis*, con ocurrencia entre otoño a invierno (Mumford y Miura, 1988 y Ohno y Critchley, 1993). Para *P. perforata*, es probable que las altas irradiancias de primavera-verano y los eventos de surgencia del área de estudio provoquen la permanencia de la fase foliar. Así mismo, en otoño-invierno, por la baja temperatura, disminución en la duración del día, irradiancia y concentración de nutrientes, domine la fase microscópica (conchocelis). No

es, sino hasta que vuelven las condiciones de primavera-verano, que se reinicia la producción de conchosporas que generen la fase foliar. Esto es evidente al observar en este estudio las variaciones de densidad poblacional y tamaño (Fig. 8 a y b), y condición reproductiva (Fig. 10), donde coinciden los máximos de densidad poblacional en los meses de primavera y verano, con el estado no reproductivo de la especie.

Con respecto a la tasa de crecimiento, los experimentos *in situ*, demostraron que los mayores valores de crecimiento diario están acoplados con los máximos de estado no reproductivo y con los de densidad poblacional y tamaño. La coincidencia de estos máximos en el mismo lapso define la mejor temporada para realizar el cultivo y la factibilidad biológica de realizarlo.

Por otra parte, los valores mayores en porciento de nitrógeno en talo se ubican en los meses con menores irradiancias lo que refleja la cantidad de nitrógeno aportada por pigmentos. Lo que hace pensar que por adaptación cromática se generan más pigmentos con las bases nitrogenadas correspondientes (Thomas *et al.*, 1987).

Algunos autores (Mencher *et al.*, 1983 en Hafting, 1999) mencionan que para el caso de la utilización de *Porphyra* como alimento humano o forraje, es deseable para la calidad del producto final, que se mantenga el nitrógeno en

talo cercano al 0.7 % peso humedo. Wu *et al.* (1984) reporta para *P. yezoensis*, en condiciones de cultivo, un 4.7 % peso seco de nitrógeno en talo. *P. perforata* durante el primer ciclo (1999), en condiciones de cultivo de tubos de malla, rebasó el porcentaje de N reportado para *P. yezoensis*. Sin embargo, de los valores obtenidos de nitrógeno en talo en la planta cultivada en superficie y sumergida, se registraron mayores concentraciones de nitrógeno en talos que estaban cubiertos por el agua permanentemente (cultivo sumergido). Las variaciones de nitrógeno en *P. perforata in situ* y cultivada se relacionan con eventos de surgencia que se presentan en la zona lo que es evidente en las temperatura del agua y en la concentración de nitrato en el agua (Figuras 3 y 5).

En este trabajo se observó que las población natural de *P. perforata* tienen un crecimiento promedio de 2.5 % diario, mismo que *P. tenera* y *P. yezoensis* presentaron en condiciones de cultivos expuestos a cambios de marea (Hwang *et al.*, 1997). Por otra parte, y además de las dos especies anteriores mencionadas, *Porphyra narawaensis* (Miura) presentó crecimientos en un intervalo de 2.6 a 3.5 % diarios en sistemas sumergidos (Noda e Iwata, 1978). Comparativamente con los resultados de *P. perforata*, se puede pensar que está especie puede cultivarse a nivel comercial.

Las características observadas en la población natural que hacen de esta especie un alga adecuada para el cultivo, no se observaron de manera

consistente en el arte de cultivo. El crecimiento promedio para la planta cultivada fue menor al observado en las condiciones *in situ*. Algunos autores (Hannach y Waaland, 1989; Santélices, 1977 citado en Valenzuela-Reyes, 1985) mencionan que el crecimiento depende de las variables físicas y químicas, así como el movimiento del agua y periodo de exposición. Sin embargo, la amplia variación que resultó en los maricultivos, no permite establecer un patrón de crecimiento, rendimiento o alguna relación con las variables ambientales así como también entre las tres densidades probadas. Ésto, probablemente debido, al arte de cultivo que tal vez no fue el más efectivo para esta especie por el tamaño de malla utilizado en los tubos de red (3 cm). La forma como quedaban las plantas dentro del tubo de malla, aunado a la disminución de talla de las algas (Fig. 8b) producto de la reproducción y liberación de esporas, permitía que se perdieran las plantas. Ésto fue más evidente en otoño, invierno y primavera. Durante el otoño, las plantas estaban 100% reproductivas y para finales comienza la fase conchocelis. Sin embargo, el hecho de que en algunos meses se obtuvieron buenos rendimientos, indica que el arte podría ser mejorado. Además, se encontraron diferencias de crecimiento de la planta cultivada en el sistema a superficie y el sumergido, esto debido a que la irradiancia se regula lo que ocasiona que la cantidad de pigmentos fotosintéticos aumenten (Noda e Iwata, 1978).

En otros trabajos, el arte funcionó exitosamente para otras especies con estructuras del talo más rígidas como *Chondrus crispus* (Stackhouse)(Zertuche-González *et al.*, 2001), *E. uncinatum* , *C. pectinatus* (Zertuche-González *et al.*, 1999). Zertuche *et al.* (2001) registro variaciones de crecimiento entre 1 y 2 % día<sup>-1</sup> para *C. crispus* cultivada con el mismo arte y sistema de cultivo, y aunque *P. perforata* presentó crecimientos en este intervalo se necesitan realizar mejoras de acuerdo a las características de esta especie. Sin embargo, con el método de tubos de malla plástica se obtuvieron rendimientos similares a los obtenidos en China, donde se considera exitoso para *P. tenera* y *P. yezoensis*, con el método de redes flotantes (Fei *et al.*, 1998). He Peimen (comunicación personal<sup>1</sup>) reporta un rendimiento de 0.7 a 1.5 Kg m<sup>-2</sup> peso húmedo en la temporada de diciembre a marzo en China. Para el cultivo de *P. perforata* en tubos de malla plástica colocada en el sistema superficial se obtuvo un rendimiento de 0.3 a 0.6 Kg m<sup>-2</sup>. Para el cultivo sumergido, el rendimiento aumentó a valores equivalentes de 0.9 a 1.5 Kg m<sup>-2</sup> durante la temporada de junio a septiembre.

El sistema en superficie, por estar semi expuesto, fue más susceptible a los desechos flotantes (algas a la deriva principalmente), que son un problema cuando cubren la unidad de cultivo como lo observaron también Mumford (1990) y Zertuche *et al.* (2001). Durante la cosecha se observó que el sistema

---

<sup>1</sup> Profesor visitante. University of Connecticut at Stamford, CT.

colocado en superficie presentaba una gran cantidad de *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C. Agardh, que quedaba atorada en el sistema lo que afectaba la exposición al sol, circulación y el aumento de herbívoros en el arte de cultivo. Además se incrementaba la tensión del sistema y la carga de trabajo por mantenimiento. Este problema fue mínimo en el sistema instalado a profundidad, lo que sugiere otra razón por la que posiblemente, se haya tenido un mayor rendimiento en este sistema. La variante del sistema permitió también la disminución del pastoreo que se observó en el intermareal. Esto se reflejó finalmente en el rendimiento, analizado de manera total, que fue 3.5 veces mayor en el sistema sumergido que en colocado en superficie.

## 6. Conclusiones

- *P. perforata* por sus características biológicas de tamaño y crecimiento diario es susceptible de ser cultivada.
- Se obtuvo rendimiento en cultivo de *P. perforata* durante cuatro meses mediante el uso de tubos de malla plástica. Sin embargo el arte de cultivo no propicio que la etapa de crecimiento vegetativo de la planta se mantuviera.
- Se obtuvieron mayores rendimientos en el sistema sumergido
- La luz de malla utilizada en el arte de cultivo no fue adecuada para esta especie.

## 6. Referencias

- Abbott, I.A. y G.J. Hollenberg. 1976. **Marine Algae of California**. Stanford University of California. 827 pp.
- Aguilar-Rosas, L.E., R. Aguilar-Rosas, I. Pacheco-Ruíz; R. Bórquez, M. Aguilar y E. Urbieto. 1982. **Algas de importancia económica de la región noroccidental de Baja California, México**. Ciencias Marinas .8(1):49-63.
- Blaedel, W.J y V.W. Meloche. 1957. **Elementary quantitative analysis: Theory and Practice**. Row, Peterson and Company; Evanston, Illinois. 826 pp.
- Cole, K. y E. Conway. 1980. **Studies in the Bangiaceae reproductive modes**. Botanica Marina. 23: 545-553.
- Dawson, E.Y. 1952. **Marine red algae of Pacific Mexico. Bangiales to corallinaceae subf. Corallinoideae**. Allan Hancock Pacific Expedition. 17:1-239.
- Fei, X.G, S. Lu Bao, R. Wilkes y C. Yarish. 1998. **Seaweed cultivation in China**. World Aquaculture. 29(4):22-24.
- González-Morales A. y Gaxiola-Castro. **Variación día a día de características físico-químicas, biomasa y productividad primaria del fitoplancton en una zona de surgencia costera de Baja California**. Ciencias Marinas. 17(3): 21-37
- Grobe, W.C., C. Yarish y R.I. Davidson. 1998. **Nitrogen: a critical requirement for *Porphyra* aquaculture**. World Aquaculture. 29(2):34,35,57
- Hafting, J.T. 1999. **Effect of tissue nitrogen and phosphorus quota on growth of *Porphyra yezoensis* blades in suspension cultures**. Hydrobiology. 398/399: 305-314.
- Hannach, G. y J.R. Waaland. 1989. **Growth and morphology of young gametophytes or *Porphyra abbottae* (Rhodophyta): effects of environmental factor in culture**. Journal Phycology. 25:247-254.
- Hwang, M.S., I.K. Chung y Y.S. Oh. 1997. **Temperature Responses of *Porphyra tenera* Kjellman and *P. Yezoensis* Ueda (Bangiales, Rhodophyta) from Korea**. Algae (The Korean Journal of Phycology). 12(3):207-213 .

- Hollenberg, G. 1958. **Culture studies of marine algae. III *Porphyra perforata***. American Journal of Botany. 45:653-655.
- Kito, H. y Y. Kawamura. 1999. **The cultivation of *Porphyra* (nori) in Japan**. World Aquaculture. 30(2):35,36,39.
- Levine, I.A. 1998. **Comercial cultivation of *Porphyra* (nori) in the United States**. World Aquaculture. 29(4): 37,38,45.
- Lobban, C.S. y P.J. Harrison. 1994. **Seaweed Ecology and Physiology**. Cambridge University Press. 366 pp.
- Mumford, T.F. Jr y A. Miura. 1988. ***Porphyra* as food: cultivation and economics. Algae and Human Affairs**. Cambridge University Press. 87-117
- Mumford, T.F. Jr. 1990. **Nori cultivation in North America: growth of the industry**. Hydrobiologia. 204/205: 89-98.
- Noda, H. y S. Iwata. 1978. **A guide to de improvement of nori products**. National Federation of Nori and Shelfish Fisheries Cooperative Associations. 221 pp.
- Notoyo, M. y K. Nagaura. 1999. **Studies on the growth, in culture, of two forms of *Porphyra lacerata* from Japan**. Hidrobiologia 398/399: 299-303
- Ohno M. y Critchely A. 1993. **Seaweed Cultivation and Marine Ranching**. Int. Cooperation Agency (JICA). Japón. 151 pp.
- Pacheco-Ruíz, I., Z. García-Esquivel, R. Valenzuela-Grijalva y L.E. Aguilar-Rosas. 1986. **Variación estacional de biomasa y observaciones ecológicas en *Porphyra perforata* J.Ag (Rhodophyta, Bangiales) en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México**. Ciencias Marinas. 12(3):62-69.
- Salgado-Rogel, M.L. y Zertuche-González J.A. 2001. **Development of the conchocelis stage of *Porphyra perforata* from temperate Mexican Pacific**. Journal Phycology. (suplement) 31(3):43-44.
- Thomas, T.E.; D.H. Turpin; P.J. Harrison. 1987. **Desiccation enhanced nitrogen uptake rates in intertidal seaweeds**. Marine Biology. 94: 293-298.

- Valenzuela-Reyes, M.R. 1985. **Variación estacional de biomasa, regeneración y fenología de la fase foliar de *Porphyra perforata* J. Ag en la Bahía de Todos Santos, Baja California. México.** Tesis (Licenciatura) . UABC-FCM. 66 pp
- Waaland, R.J., L.G. Dickson y C.S. Duffield. 1990. **Conchospore production and seasonal occurrence of some *Porphyra* species (Bangiales, Rhodophyta) in Washington State.** *Hydrobiology*. 204/205:453-459.
- Wu, C.Y., Y.X. Zhang, R.L. Li, Z.S. Peng, Y.F. Zhang, Q.C. Liu, J.P. Zhang, X. y Fang. 1984. **Utilization of ammonium nitrogen by *Porphyra yezoensis* and *Gracilaria verrucosa*.** *Hydrobiologia*. 116/117: 475-477.
- Yarish, C., R. Wilkes, T. Chopin, X.G. Fei, A.C. Mathieson, A.S. Klein, C.D. Neefus, G.G. Mitman e I. Levine. 1998. **Domestication of indigenous *Porphyra* (nori) species for commercial cultivation in Northeast America.** *World Aquaculture*. 29(4):29-31,55.
- Zertuche-González, J.A. 1989. **Macroalgas y el desarrollo de su cultivo.** Cap. 11:319 -337 En: Rosa-Vélez J. De la Y F. González-Farías (eds) *Temas de Oceanografía Biológica en México, Ensenada*. 337pp.
- Zertuche-González, J.A., G. García-Lepe, I. Pacheco-Ruíz, A. Chee-Barragan y V. Gendrop-Funes. 1999. **A new approach to seaweed cultivation in Mexico.** *World Aquaculture*. 30(2):50,51,66.
- Zertuche-González, J.A., G. García-Lepe, I. Pacheco-Ruíz, A. Chee-Barragan, V. Gendrop-Funes y J.M. Guzmán. 2001. **Open water *Chondrus crispus* Stackhouse cultivation.** *Journal of Applied Phycology*. 13:249-253.