



Universidad Autónoma de Baja California

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

FOTOSÍNTESIS, RESPIRACIÓN Y CRECIMIENTO in situ DE
Gigartina pectinata (DAWSON) EN BAHÍA DE LOS ANGELES



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

P R E S E N T A

ALEJANDRO CABELLO PASINI

Ensenada, Baja Cfa.

Enero de 1988

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

FOTOSINTESIS, RESPIRACION Y CRECIMIENTO in situ
DE Gigartina pectinata (DAWSON) EN BAHIA DE LOS ANGELES.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

P R E S E N T A

ALEJANDRO CABELLO PASINI

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA. ENERO DE 1988

FOTOSINTESIS, RESPIRACION Y CRECIMIENTO in situ
DE Gigartina pectinata (DAWSON) EN BAHIA DE LOS ANGELES

T E S I S

QUE PRESENTA:

ALEJANDRO CABELLO PASINI

Aprobada por:

Presidente del Jurado
M.C. José Zertuche González

Sinodal Propietario
M.C. Roberto Millán Nuñez

Sinodal Propietario
M.C. Julio Espinoza Avalos

Sinodal Suplente
Dr. Boudevijn H. Brinkhuis

Sinodal Suplente
M.C. Francisco Ley Lou

RESUMEN

En el presente trabajo se estimó la fotosíntesis, la respiración y el crecimiento in situ de Gigartina pectinata (Dawson) en Bahía de los Angeles durante un ciclo anual. La fotosíntesis y la respiración se estimaron utilizando el método de incubaciones con botellas clara y oscura sometiendo los ejemplares a cinco diferentes intensidades de luz.

Se encontró que la productividad de G. pectinata es afectada significativamente por la intensidad de la luz y varía de acuerdo a la época del año.

Los valores de productividad encontrados son aproximadamente el doble de los más altos reportados en la literatura para otras especies.

Los máximos valores de productividad neta se estimaron en el mes de febrero de 1987 siendo de 192 y 208 mg C/g seco/h para el 88 y 40 % de luz incidente. Los mínimos valores de productividad fueron de 29 y 48 mg C/g seco/h, estimados en octubre de 1986 y julio de 1987 para una intensidad de 9 % de I_0 .

En los experimentos en los que las incubaciones duraron más de 1.25 horas se presentó un efecto de fotorespiración, siendo más notorio en las incubaciones que recibieron 88 y 40 % de luz incidente.

Con respecto al crecimiento se encontró que esta especie solo es afectada por la época del año y no por la profundidad de estas. Los máximos valores de porcentaje de crecimiento diario fueron de 10.6 % para abril de 1986.

DEDICATORIA

A mis queridos padres

Dr. Rodolfo Cabello F. y Maria Elena Pasini de Cabello
Por todo su apoyo, sacrificio y cariño que me son
invaluables.

A mis hermanos

Rodolfo Pedro, Aldo y Ruy
Por su unidad y confianza en mi.

A Norma

Con todo mi cariño.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su constante compañía.

A mi director de tesis M.C. José Zertuche G. por haber compartido sus conocimientos, su trabajo y amistad desinteresadamente conmigo.

Al Doctor Boudjewin Brinkhuis, por haberme enseñado teórica y prácticamente gran parte de lo que hoy sé de la fisiología de algas.

A mis sinodales, M.C. Roberto Millán N., M.C. Julio Espinoza A., M.C. Francisco Ley L. y Dr. Boudjewin Brinkhuis, quienes con sus magníficas sugerencias y recomendaciones mejoraron el escrito de este trabajo.

A mis maestros, Dra. Elizabeth Orellana C., M.C. Roberto Millán, M.C. José Zertuche G., M.C. Ramón Cajal M., M.C. Luis Fok P., M.C. Salvador Farreras, Dr. Rubén Lara L. y Dra. Silvia Ibarra O., por haber compartido sus conocimientos y su trabajo conmigo.

A mis compañeros, Oc. Luis A. Cupul M., Oc. Eduardo Santamaria, Oc. Hector Bustos S., Oc. Luis A. Morales Z., Oc. René Islas y Gabriela de la Selva, por su amistad y apoyo a lo largo de estos dos años juntos.

Al Ing. Felipe de Jesús Ricalde S. por la realización de todas las figuras de este trabajo y por su compañerismo en todo momento.

A Oc. Guadalupe G. de Ballesteros, M.C. Roberto Millán N. y Oc. Lorenzo Gomez-Morin por las atenciones que conmigo siempre han tenido.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CoNaCyT) por haberme otorgado una beca con la que fue posible realizar estos estudios.

A la Universidad Autónoma de Baja California y al Instituto de Investigaciones Oceanológicas de Ensenada, por haber facilitado sus instalaciones y el material necesario para la realización de esta investigación.

A todas las personas que de alguna u otra manera ayudaron a que este trabajo fuera posible.

Este estudio se realizó dentro del programa "Maricultivo y Extracción Química de Algas de Valor Comercial de Baja California" del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de Ensenada, de la Universidad Autónoma de Baja California, como parte del proyecto internacional "Bases Fisiológicas del Ciclo Anual de Eucheuma uncinatum", con patrocinio parcial otorgado al Dr. Bud Brinkhuis por la National Science Foundation (NSF) y al M.C. José Zertuche G. por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CoNaCyT).

INDICE

INTRODUCCION	1
AREA DE ESTUDIO	5
MATERIAL Y METODOS	7
RESULTADOS	13
DISCUSIONES	21
CONCLUSIONES	32
LITERATURA CITADA	33

INDICE DE FIGURAS

- Fig. 1. Localización del area de estudio 6
- Fig. 2. Estructura de soporte de las botellas
BOD para el estudio de fotosíntesis 9
- Fig. 3. Productividad neta de G. pectinata
en los diferentes meses de estudio 14
- Fig. 4. Productividad neta de G. pectinata
con respecto a la intensidad de luz 17
- Fig. 5. Respiración de G. pectinata en
diferentes meses en Bahía de los Angeles..... 18
- Fig. 6. Porcentaje de crecimiento diario de
G. pectinata a cuatro profundidades
con respecto a la época del año. 20

INDICE DE TABLAS

Tabla I. Valores de productividad de G.
pectinata con respecto a la intensidad
de luz y época del año 16

INTRODUCCION

Las comunidades bentónicas macroalgales han sido descritas como uno de los sistemas más productivos sobre la tierra (Ryther 1963; Mann 1973; King y Schramm 1976). Ryther (1963) sugirió que la producción mundial marina de algas bentónicas se podía aproximar al 10 % de la del fitoplancton aunque las macrofitas solo ocupan el 0.1 % de la superficie total del mar.

Un requisito para entender la contribución de comunidades de macroalgas a la producción, es la medición de la fotosíntesis de las poblaciones dominantes (Littler y Murray 1974). El producto final de esta fotosíntesis es la síntesis de nuevo material celular que lleva, eventualmente, a un aumento en la biomasa de la población (Morris 1981).

Desde hace varias décadas ha existido un fuerte interés por entender los factores que controlan la fotosíntesis, ya que esta es esencial para : 1) determinar la contribución de las algas a la productividad primaria, 2) realizar estimaciones confiables de valores individuales de fotosíntesis, y 3) analizar estrategias evolutivas de la fijación del carbón.

En el presente estudio se trabajó con la especie Gigartina pectinata (Dawson), la cual es un alga roja de importante valor económico por su contenido de carragenano.

El carragenano es un polisacárido sulfatado encontrado en la pared celular de las algas rojas pertenecientes a las familias Gigartinaceae y Solieraceae del orden Gigartinales (Anderson y Rees 1966). Este ficocoloide es usado extensamente como un estabilizador, gelatina y agente emulsificante en comida, industria farmacéutica, cosmética y otras industrias (Levring et al. 1969; Lee 1980).

Gigartina ha sido encontrada en ambos hemisferios y han sido descritas cerca de 100 especies, las cuales se presentan en una gran variedad de formas y tamaños (Bold y Wynne 1978).

Gigartina pectinata es una macroalga endémica del norte del Golfo de California (Dawson 1944; Norris 1972), ocurriendo comunmente desde la zona de entremareas hasta los siete y medio metros de profundidad (Norris 1975). El talo consiste en láminas planas y delgadas, abundantemente ramificadas, su grosor es de aproximadamente 12 mm reduciéndose hasta llegar a ramificaciones agudas (Dawson 1944, 1961).

De Gigartina pectinata solo se conoce la taxonomía y su distribución (Dawson 1944; Norris 1972, 1975), y solamente existe un trabajo sobre la biomasa y sus estadios reproductivos en Bahía de los Angeles (Pacheco-Ruiz y Zertuche-González en prensa). Sin embargo, se considera un recurso industrialmente explotable, porque de ella se puede extraer kappa carragénano (Zazueta-Gonzalez et al. 1987).

Aunque G. pectinata es una especie que presenta mantos bastante grandes, no fue descrita por Guzman del Proo (1969) en su censo de especies comerciales en Baja California, aunque si describe especies como Eucheuma uncinatum en Bahía de los Angeles, que es una especie muy asociada con G. pectinata en esta zona.

Debido a la importancia económica de esta especie, se decidió estimar su productividad a diferentes intensidades de luz así como su crecimiento a diferentes profundidades a lo largo de un ciclo anual.

Las tasas de crecimiento y fotosíntesis de las algas pueden ser reguladas por la intensidad de luz, la calidad espectral, el hábitat de luz de donde el alga es originaria, la temperatura, la profundidad, el desarrollo de la planta, la morfología y la especie (Ramus et al. 1976; King y Schramm 1976; Littler et al. 1979; Mishkind et al. 1979; Arnold y Murray 1980; Ramus y Rosenberg 1980; Lapointe et al. 1984), por lo que estas, aparte de presentar un ciclo diurno de fotosíntesis, también presentan ciclos estacionales.

Debido a los cambios estacionales en la producción, Doty (1971), Brinkhuis (1977) y Littler et al. (1979) mencionan que es necesario tomar datos a lo largo del año; o si son especies anuales, se necesitan datos de su actividad fotosintética a lo largo de su ciclo de vida, realizando

incubaciones cortas a través del día.

El objetivo de este trabajo fue determinar la productividad neta de Gigartina pectinata (Dawson) bajo diferentes intensidades de luz así como su crecimiento a diferentes profundidades, a lo largo de un ciclo anual.

AREA DE ESTUDIO

Bahía de los Angeles está situada en la costa noreste de Baja California, entre los $28^{\circ} 40'$ y $29^{\circ} 00'$ latitud Norte y $113^{\circ} 30'$ y $113^{\circ} 35'$ longitud Oeste (Fig. 1).

El área específica de estudio se encuentra localizada entre Punta Arena y Punta la Gringa. En esta zona la pendiente del litoral es suave y el fondo se caracteriza por estar formado por cantos rodados en la zona de entremareas para gradualmente ser substituidos por arenales (Barnard y Grady 1968).

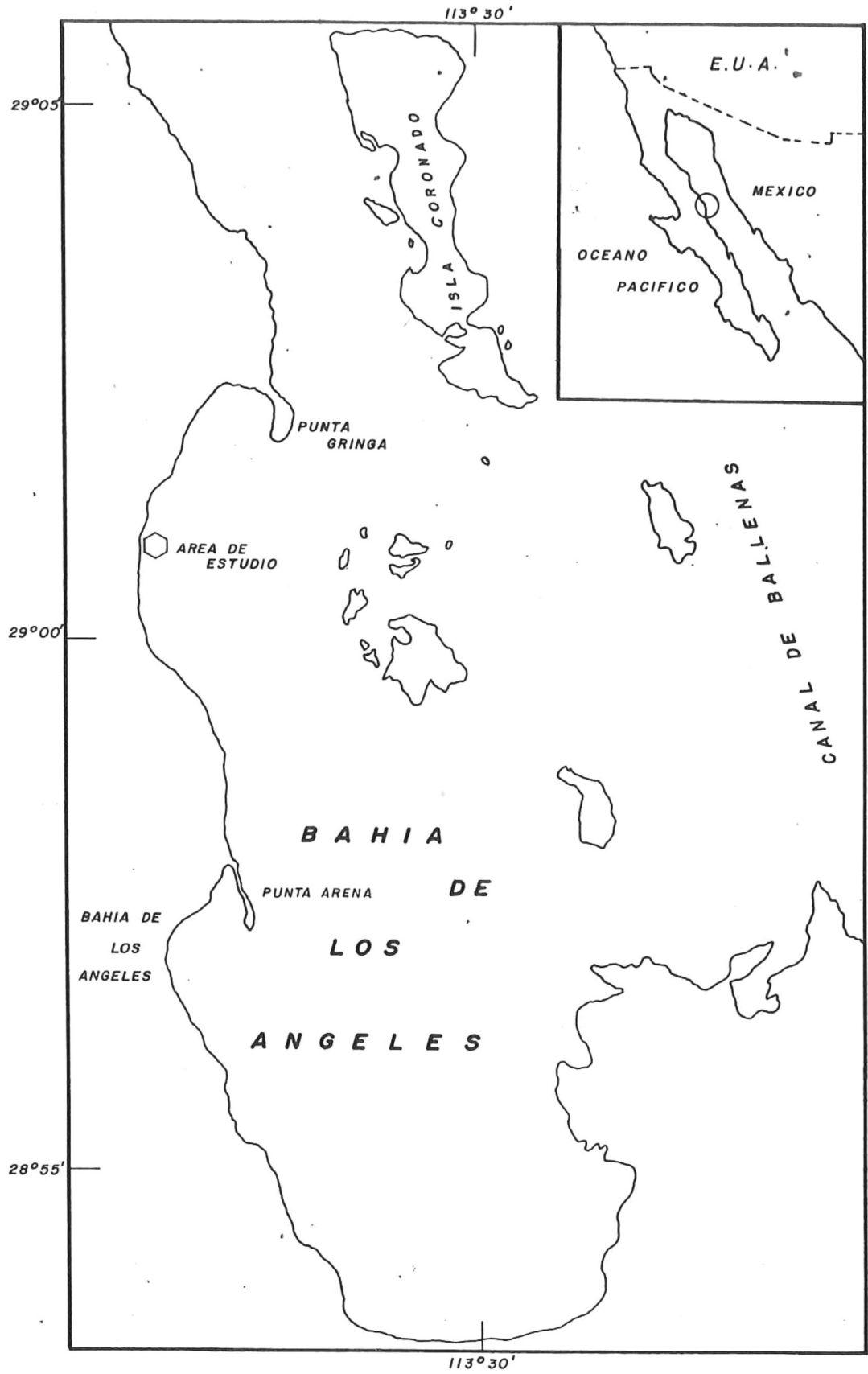


Fig. 1. Localización del area de estudio

MATERIAL Y METODOS

La fotosíntesis, respiración y crecimiento de Gigartina pectinata se midió de octubre de 1986 a julio de 1987, época cuando esta especie estuvo presente. Los experimentos de fotosíntesis y respiración (productividad) se realizaron siguiendo la metodología descrita por Dawes (1986). En cada salida de campo se hicieron dos experimentos de fotosíntesis y respiración con la excepción de los meses de octubre y abril, en los que solo se realizó un experimento.

Previamente a las incubaciones se filtraron 20 litros de agua de mar utilizando un filtro de 5 micras. La filtración se realizó para minimizar el error provocado por la fotosíntesis del fitoplancton presente. La filtración siempre se realizó en las primeras horas de la mañana, con el fin de que el agua tuviera la menor concentración de oxígeno disuelto (Littler 1979).

Las plantas fueron colectadas en un transecto previamente determinado, a unos 7 kilómetros del lugar donde se realizaron los experimentos. Se escogieron aproximadamente 40 partes terminales de unos 10 cm de longitud las cuales fueron limpiadas de epifitas y epibiontes.

Una vez limpias y haber reposado las plantas en un balde con agua de mar por aproximadamente media hora, las algas fueron colocadas en botellas BOD de 300 mililitros que previamente se llenaron con el agua de mar filtrada y se pusieron en unos tubos de acrílico transparente. El promedio del peso seco de las plantas incubadas fue de 0.0822 g, lo que dió una razón de peso/volumen de 0.24 g/l.

Los tubos de acrílico se cubrieron con malla de mosquitero de nylon para atenuar la luz del sol. Esta atenuación fue de 88, 40, 27, 16 y 9 % de la luz incidente (I₀) correspondiendo a aproximadamente cero, uno, tres, cuatro y cinco metros de profundidad en la columna de agua.

Se utilizaron seis tubos de acrílico y en cada uno de estos tubos se colocaron cinco botellas BOD (salvo en el mes de octubre que se utilizaron tres). En el primer tubo, que recibió el 88 % de la luz incidente, se colocaron las botellas sin algas para obtener la productividad del fitoplancton con respecto a las botellas iniciales; en los cinco siguientes tubos se colocaron las botellas con las algas para medir la producción de oxígeno a las diferentes intensidades de luz. Para medir la respiración se utilizó un tubo de ABS que no permitía el paso de la luz.

Todos los tubos de acrílico se colocaron en una estructura flotante (Fig. 2) que los mantuvo a la misma profundidad y además por el oleaje, todas las plantas se

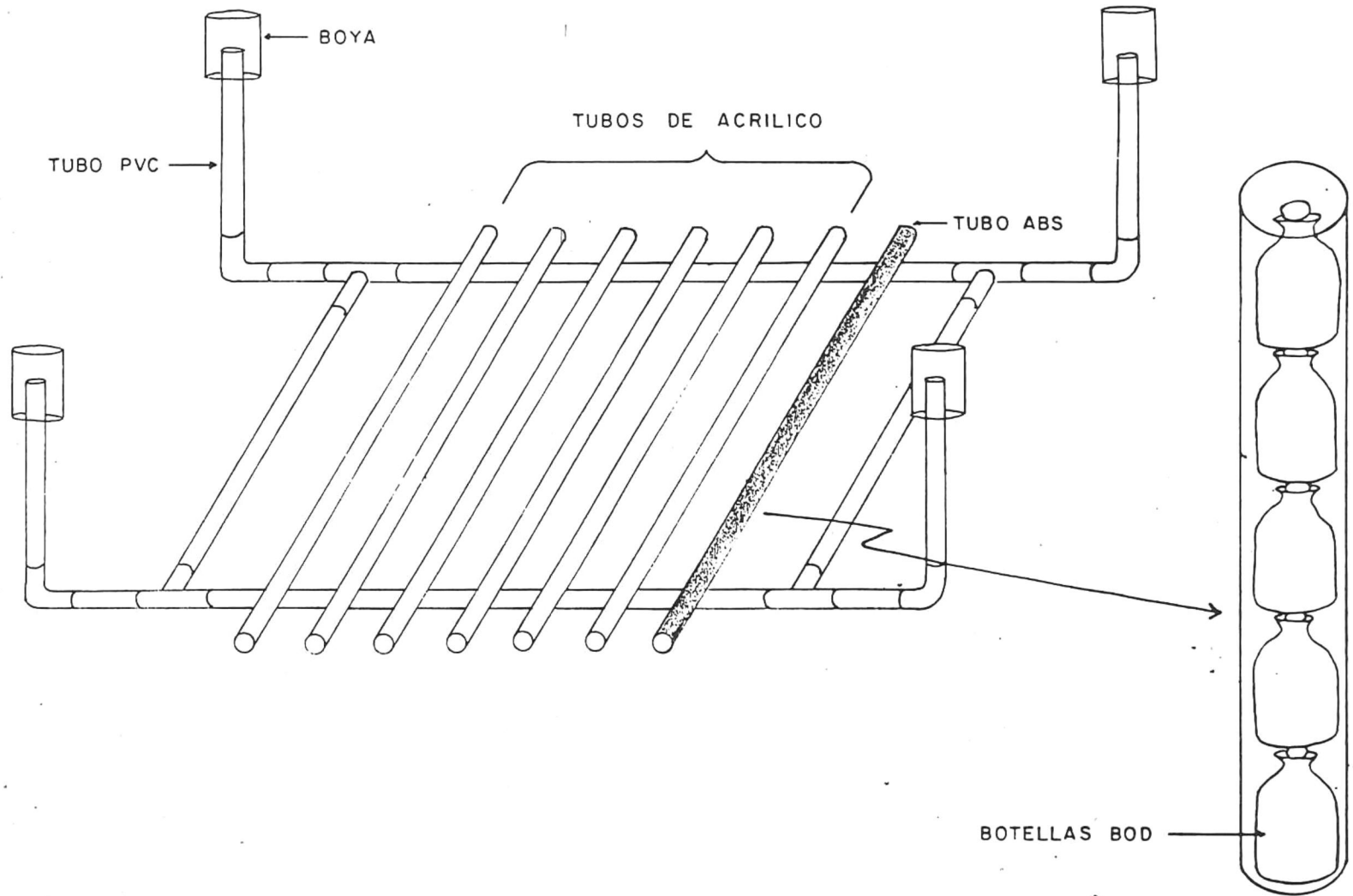


Fig. 2. Estructura de soporte de las botellas BOD para el estudio de productividad

mantuvieron en constante movimiento. La estructura de soporte consistió en un cuadro de PVC de 1 pulgada de diámetro, la cual se suspendió bajo el agua a aproximadamente 50 cm de la superficie con la ayuda de cuatro flotadores y fue anclada a rocas con una cuerda.

Las incubaciones se iniciaron entre las 9 y 10 de la mañana y la duración de estas fue de entre aproximadamente una hora y una hora 40 minutos. Durante las incubaciones se midió la luz ambiental y subsuperficial utilizando irradiómetros marca Biospherical Instruments Inc. QSL-100 y Kalhsico 268WA310.

Las determinaciones de oxígeno disuelto se realizaron en el campo, siguiendo la metodología descrita por Strickland y Parson (1972). Los valores de producción de oxígeno fueron convertidos a mg C/g seco/h utilizando un coeficiente fotosintético de 1.0.

Una vez determinada la concentración de oxígeno en las botellas, las algas se enjuagaron con agua destilada y se secaron. En el laboratorio se determinó el peso seco de las algas después de que fueron secadas en el horno a 60 grados centígrados hasta obtener peso constante siguiendo la metodología propuesta por Brinkhis (1985).

Para estimar el crecimiento diario de G. pectinata se realizaron experimentos en el que se determinó el incremento en peso seco a lo largo de diferentes periodos de tiempo.

Sobre un transecto se colocaron cuatro bloques de concreto a dos, tres, cuatro y cinco metros de profundidad. A dichos bloques se ataron 10 bolsas de malla en las que se colocaba un ejemplar de Gigartina pectinata de aproximadamente 10 centímetros de largo. Para conocer la biomasa que fue incubada dentro de cada una de las bolsas se colectaron 30 ejemplares de la misma longitud a las incubadas, se limpiaron y se secaron a 65 C hasta obtener peso constante. El promedio de material incubado fue de 0.0767 gramos.

En cada salida a Bahía de los Angeles se cosecharon las plantas incubadas en la fecha anterior y fueron reemplazadas por otras 10 bolsas nuevas en cada profundidad conteniendo nuevos ejemplares. Este experimento se realizó durante un año en las cuatro profundidades ya mencionadas.

Los pesos obtenidos en cada una de las profundidades se calcularon como porcentaje de crecimiento diario utilizando la fórmula $G = [(W_t/W_o)^{1/t} - 1] * 100$ descrita por Hoyle (1978).

Los resultados de productividad y crecimiento fueron analizados por medio de análisis de varianza de dos vías para estimar si existía una relación significativa de la productividad y el crecimiento con respecto a la intensidad de luz (productividad), profundidad (crecimiento) y la época del año, además de sus respectivas interacciones. Así mismo, los resultados también se analizaron por medio de análisis

de varianza de una via cuando fue necesario (Zar 1974). En todas las estadísticas de fotosíntesis y crecimiento se utilizó un nivel de confianza del 95 %.

RESULTADOS

Los datos de productividad presentaron diferencias significativas con respecto a la intensidad de luz y la época del año, además se encontró una interacción ó un efecto combinado de ambos parámetros.

Los valores máximos de productividad fueron de 209 y 192 mg C/g seco/h, medidos en el mes de febrero a 40 y 88 % de luz incidente respectivamente. Los valores mínimos fueron de 29 y 48 mg C/g seco/h estimados en octubre y julio respectivamente, ambos con el 9 % de la luz incidente. En general, las mínimas productividades se encontraron en los experimentos con una irradiancia de 9 % I_0 . Las máximas productividades generalmente se estimaron para los experimentos que recibieron el 88 % de I_0 , aunque en los meses de febrero, abril y mayo no existieron diferencias significativas entre los experimentos con las tres primeras intensidades de luz (88, 40 y 27 % I_0), Fig. 3.

En los meses en los que se realizaron dos experimentos de productividad se presentaron diferencias significativas entre las incubaciones que duraron menos de 1.25 horas y aquellas que duraron más. En todas las intensidades de luz, los experimentos que duraron más de 1.25 hrs tuvieron productividades inferiores a los realizados en la misma fecha pero con incubaciones más cortas.

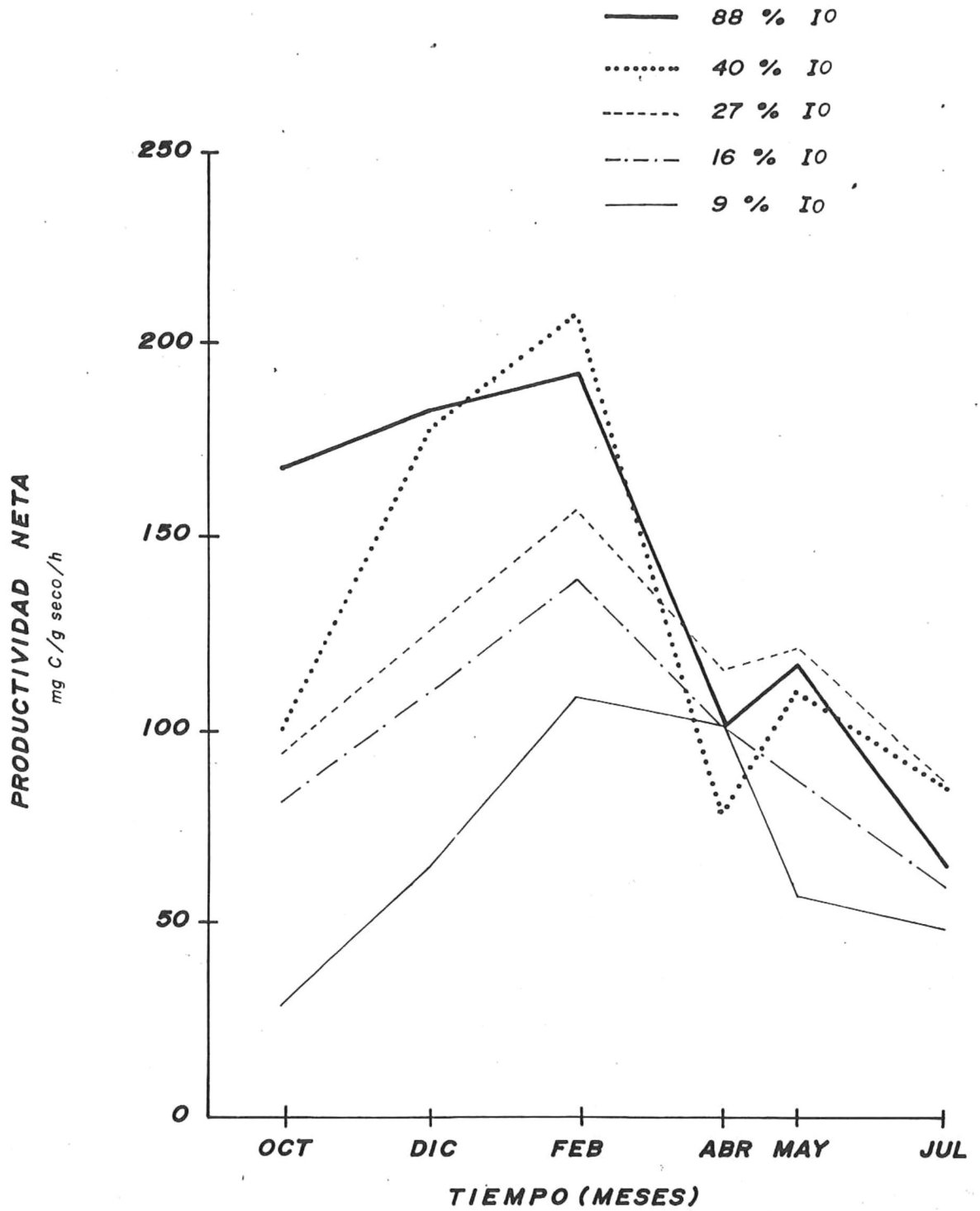


Fig. 3. Productividad neta de *G. pectinata* en los diferentes meses de estudio.

En general los resultados de productividad fueron mayores en el mes de febrero y menores, en el mes de julio, (tabla I, Fig. 4).

Para el mes de febrero se observó que el promedio de la incubación que recibió el 88 % de I₀ es menor que el que recibió el 40 % aunque no existen diferencias significativas entre estos dos promedios. Los valores mínimos para este mes fueron estimados en 109 mg C/g peso seco/h para la incubación que recibió la menor intensidad de luz.

La respiración mínima fue medida en febrero siendo de 6 mg C/g seco/h y la máxima de 16.8 mg C/g seco/h en julio. En general se observa que la respiración tiene una tendencia a aumentar de octubre de 1986 a julio de 1987.

En el último muestreo, julio, se notó que las algas presentaron una coloración y un aspecto no saludable lo cual coincide con las más altas respiraciones.

En octubre y una incubación de diciembre presentaron respiraciones negativas. En el mes de mayo se tienen diferencias significativas entre las incubaciones de respiración (Fig. 5).

En cuanto al porcentaje de crecimiento diario, el valor máximo fue de 10.6 % medido en el mes de abril de 1987. El crecimiento solo mostró diferencias significativas con respecto al tiempo y en general se encontró un valor bajo en diciembre, un máximo en abril y un porcentaje de crecimiento

TABLA I. Valores de productividad de *G. pectinata* con respecto a la intensidad de luz y época del año. Número de datos en paréntesis.

MESES	Porcentaje de luz incidente	productividad neta mg C/gr seco/hr	des. estan
OCTUBRE	88	167 (3)	9.26
	40	100 (3)	38.37
	27	94 (3)	9.39
	16	81 (3)	52.97
	9	29 (3)	5.47
DICIEMBRE	88	193 (5)	9.56
	40	177 (5)	20.29
	27	126 (10)	13.79
	16	110 (4)	6.34
	9	64 (5)	8.26
FEBRERO	88	192 (5)	28.53
	40	209 (5)	32.48
	27	158 (5)	25.42
	16	126 (10)	16.55
	9	109 (10)	15.05
ABRIL	88	102 (5)	26.97
	40	79 (5)	32.42
	27	116 (5)	23.36
	16	101 (5)	5.42
	9	101 (5)	14.23
MAYO	88	116 (5)	10.32
	40	121 (5)	15.30
	27	122 (5)	12.09
	16	88 (9)	11.54
	9	58 (10)	14.81
JULIO	88	66 (10)	9.50
	40	84 (5)	8.12
	27	86 (5)	10.74
	16	60 (10)	10.61
	9	49 (10)	8.69

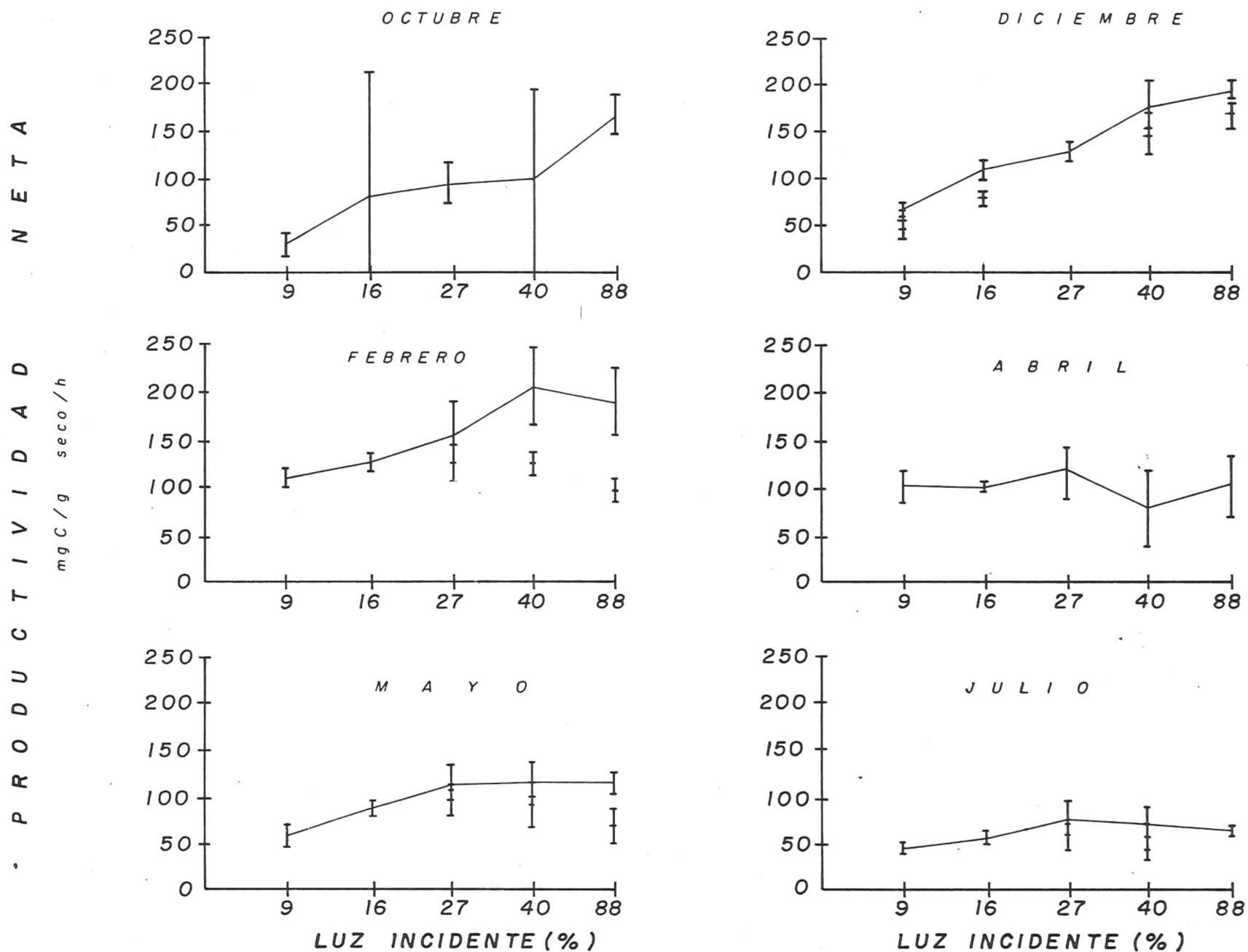


Fig. 4. Productividad neta de *G. pectinata* con diferentes niveles de luz en diferentes meses del año. Prom. \pm I.C. 95 %

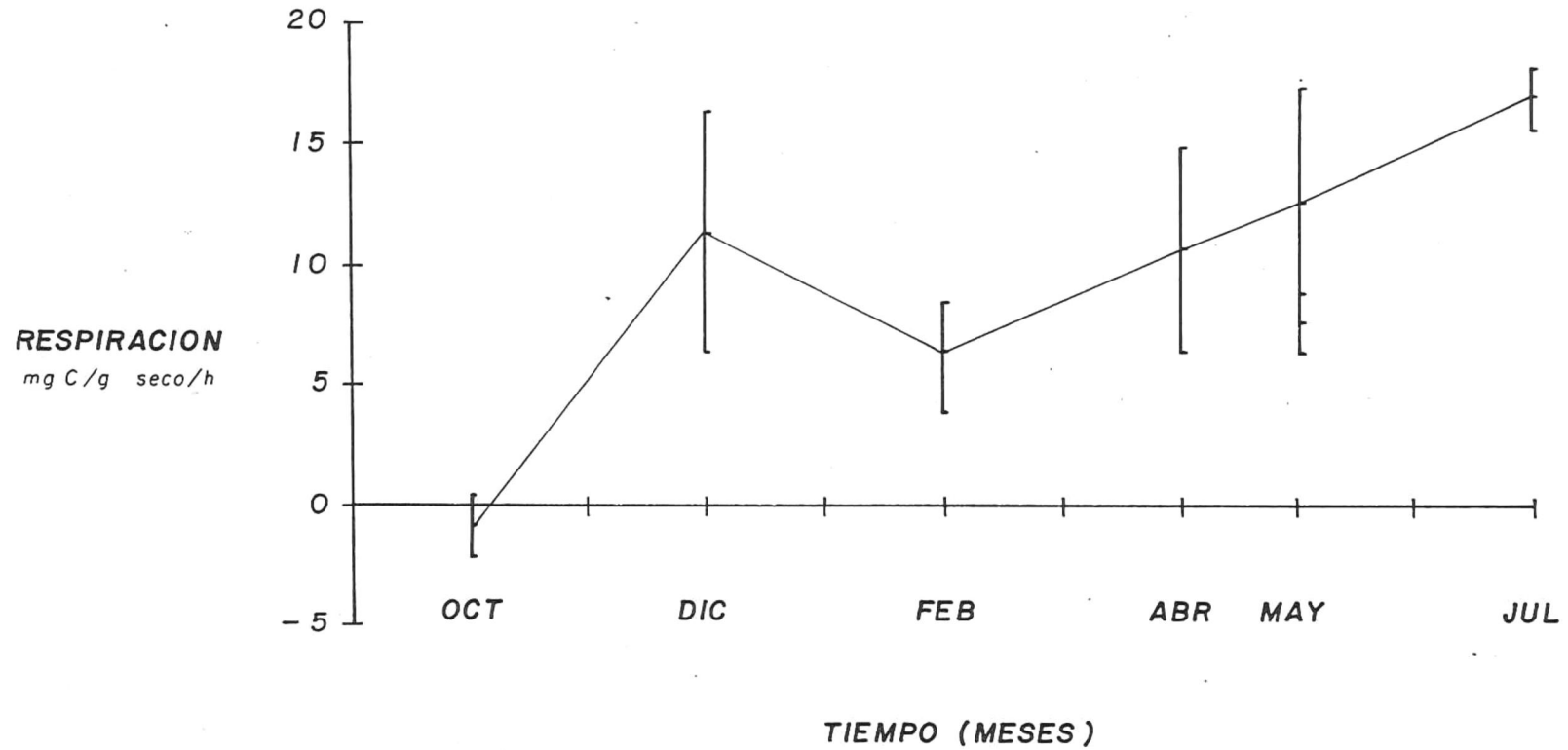


Fig. 5. Respiración de *G. pectinata* en los diferentes meses de estudio
Prom. \pm I.C. 95 %

mínimo en julio (Fig. 6). En el mes de abril a 2, 4 y 5 metros de profundidad los promedios variaron entre 7 y 10 % diario. En este mes la incubación hecha a los tres metros de profundidad se perdió.

En todos los meses se observaron epibiontes sobre las plantas. Los más abundantes fueron unos organismos calcareos costrosos que se fijan a lo largo del talo. Estos ejemplares afectan el tejido sobre el que se encuentran fijos. Lo anterior se notó ya que al desprender a estos de la planta, dejan un pequeño orificio sobre ella. Los organismos calcareos se fijaron más en las plantas que se encontraban en las redes de incubación que en las plantas libres.

Algunos otros organismos que se alimentan de esta especie son pequeños crustaceos que en algunos casos, debido a que predan tanto de G. pectinata llegan a fragmentar al alga. Por último, se pudo notar que algunos peces que viven dentro de los mantos de Gigartina se alimentan directamente de esta especie o de los organismos epifitos sobre ella.

En el mes de septiembre no se pudieron realizar los experimentos de fotosíntesis y crecimiento ya que los mantos de Gigartina pectinata desaparecieron y solo se encontraron ejemplares de Euclima uncinatum.

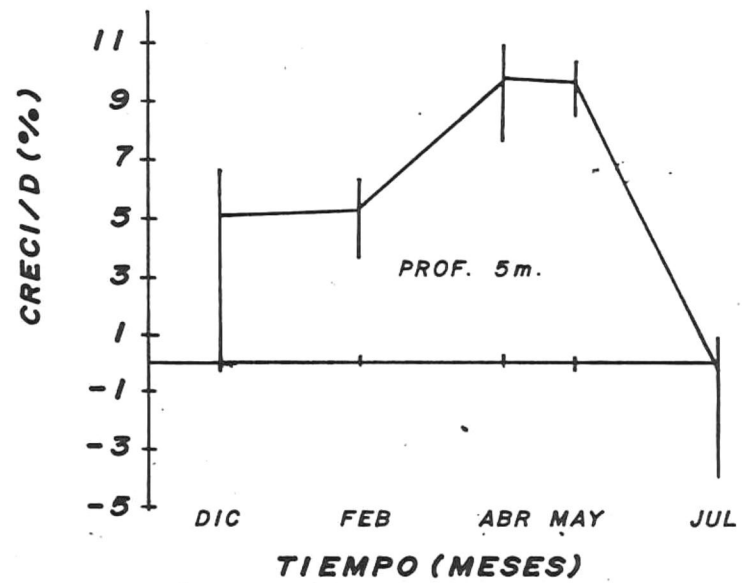
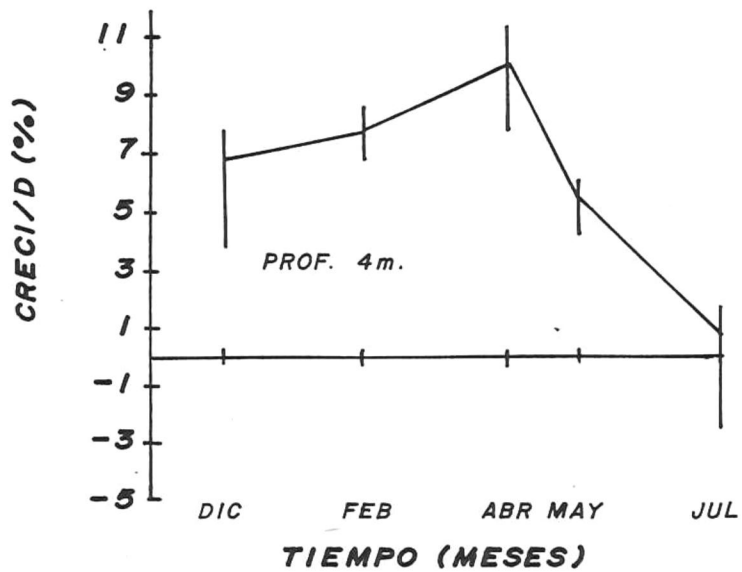
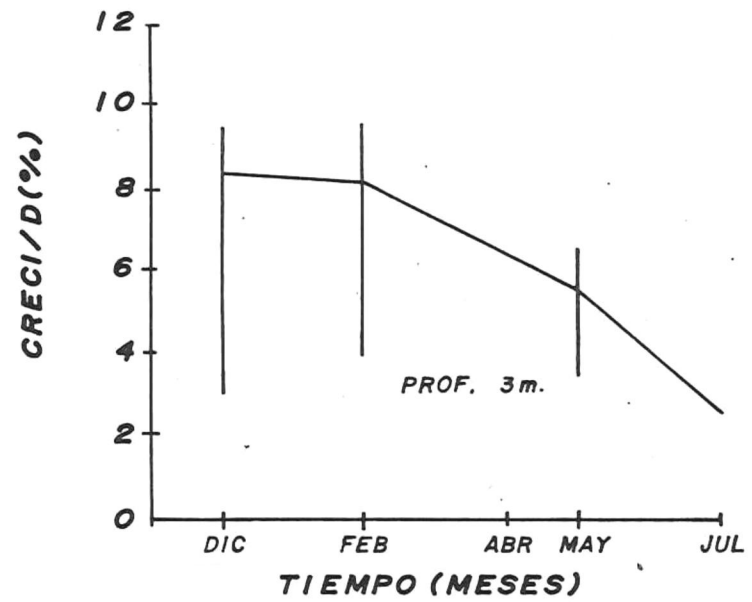
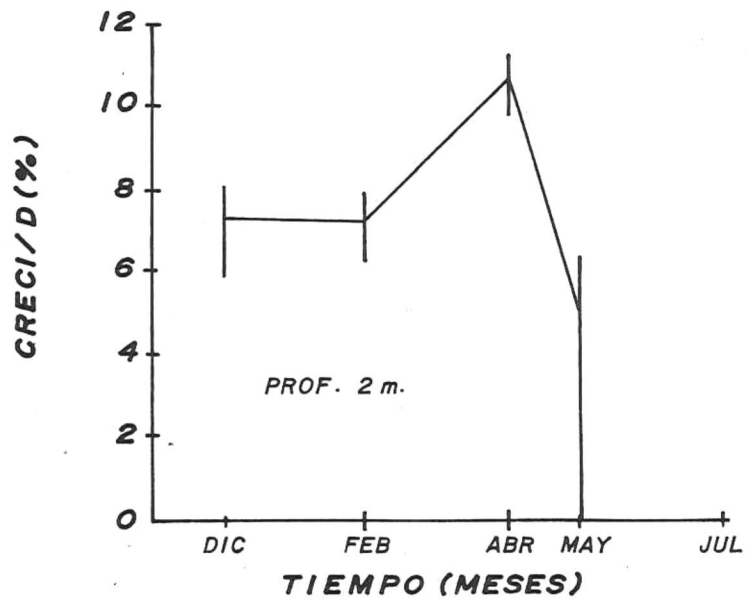


Fig. 6. Porcentaje de crecimiento diario de *G. pectinata* a cuatro profundidades con respecto a la época del año
Prom. \pm I.C. 95 %

DISCUSIONES

De acuerdo con los resultados de este estudio en el que se obtuvieron productividades máximas de 209 mg C/g seco/h y mínimas de 29 mg C/g seco/h, se puede notar que ésta es una de las especies más productivas en el medio ambiente marino. Comparando con los valores reportados por la literatura, esta alga tiene una productividad de aproximadamente el doble de las reportadas como máximas para la mayoría de las algas. Lo anterior es muy importante ya que se puede considerar a esta especie como un potencial económico no solo por su rápido crecimiento sino también por su contenido de kappa carragenano (Zazueta-Gonzalez et al. 1987) el cual es de muy buena calidad y muy cotizado por la industria.

Entre algunos de los estudios de productividad (Mathieson y Burns 1971; Adams y Stone 1973; Wassman y Ramus 1973; Littler y Murray 1974; King y Schramm 1976; Buesa 1977; Littler 1979; Littler y Arnold 1980; Quadir et al. 1979; Littler 1980; Arnold y Murray 1980; Littler y Arnold 1982; Koch y Lawrence 1987) realizados con el mismo método empleado en el presente trabajo, muestran que las algas estudiadas fijan entre 0.5 y 20 mg C/g seco/h encontrándose valores máximos para Ulvopsis gavillei y Porphyra leucostica

de aproximadamente 133 y 93 mg C/g seco/h, respectivamente (King y Schramm 1976). Aún para macroalgas que son consideradas muy productivas como Macrocystis pyrifera se estiman valores de productividad de 3 mg C/g seco/h (Bakus 1969; Towle y Pearse 1973; Arnold y Manley 1985).

Es importante notar que la gran mayoría de los trabajos sobre la productividad de las macroalgas se hacen bajo condiciones controladas o tratando de simular las condiciones ambientales en comparación a los valores de productividad obtenidos en este estudio, los cuales fueron obtenidos en experimentos realizados in situ.

Al igual que Mathieson y Burns (1971), Merrill y Waaland (1979), Ramus y Rosenberg (1980), Penniman y Mathieson (1985), la máxima producción se encontró para las máximas irradiancias, siendo en este trabajo de 88 y 40 % de I_0 .

Las incubaciones en las que la intensidad de luz fue más alta (88, 40 y 27 % I_0) la cantidad de efectos de fotorespiración en las incubaciones fue mayor, teniéndose solo un caso de fotorespiración para la incubación que recibió solo el 9 % de la luz incidente. Este comportamiento se debe a que los ejemplares que reciben una mayor intensidad de luz fotosintetizan más, saturando más rápidamente el medio de incubación. El promedio de peso seco de las plantas incubadas en los experimentos de productividad fue de 0.0822 gramos, dando una razón de peso

de alga/volumen de agua incubado de 0.24 g/l, lo cual queda dentro del intervalo propuesto por Littler (1979), Buesa (1977) y Johnston (1969). El tiempo de incubación duró en todos los casos menos de dos horas, lo que está muy por debajo de lo propuesto por varios autores (Johnston 1969; Littler y Murray 1974; Quadir et al. 1979; Littler 1979; Littler et al. 1979; Arnold y Murray 1980; Littler y Arnold 1980). Aun así, existió una fotorespiración producida por una saturación de oxígeno en los casos en las que incubaciones duraron más de 1.25 horas lo que produjo que la fotosíntesis bajara considerablemente (Fig. 3).

Es importante notar que la fotosíntesis reportada en la literatura oscila entre 2 y 100 mg C/g seco/h mientras que la productividad de G. pectinata fue de entre alrededor de 50 a 210 mg C/g seco/h. Lo elevado de la productividad de esta especie es la principal responsable de que exista una saturación de oxígeno y se tengan problemas con fotorespiración.

Debido a que se encontró que los tiempos de incubación propuestos por Johnston (1969), Buesa (1977), Littler (1979) no son aplicables para esta alga, se proponen incubaciones que duren menos de 1.25 horas para G. pectinata.

Al igual que los resultados encontrados por otros autores, se encontraron diferencias significativas de la productividad con respecto a la intensidad de luz que recibían los ejemplares (Mathieson y Burns 1971; Merrill y

Waaland 1979; Ramus y Rosenberg 1980; Penniman y Mathieson 1985; entre otros). Lo anterior puede deberse a que la productividad de las algas es afectada por la intensidad y cantidad de luz y estas variables cambian con la época del año lo cual modifica el patrón de productividad del alga. Los cambios en la productividad pueden estar ligados también con ritmos endógenos del alga.

Solo en el mes de julio se encontró que la productividad medida para el 88 % de I_0 fue estadísticamente menor que la de 40 % de I_0 lo cual es muy probable que se haya presentado no solo por las altas irradiancias de esa época sino también por las altas temperaturas que en estas fechas se presentaron (300 microeinsteins/m²/s y 31 C respectivamente). En estudios de laboratorio sobre la fisiología de G. pectinata (Pacheco-Ruiz y Zertuche-González en prensa) se encuentra que a irradiancias mayores de 69 microeinsteins y temperaturas mayores de 26 C el alga muere. En el campo, en el mes de julio se encontraron intensidades de luz y temperaturas más altas de las que se mencionan como letales para esta especie. Lo anterior podría ser una de las razones por lo que la productividad de estas algas bajó en este mes y los mantos estudiados empezaron a decrecer.

Los resultados obtenidos en el mes de octubre en que G. pectinata tuvo producciones altas, aunque menores que en diciembre y febrero, puede deberse a que en octubre los

ejemplares que se encontraron fueron muy pequeños y se encontraban en una fase inicial del crecimiento.

En el mes de abril no se pudieron realizar duplicados de las incubaciones y se puede notar que la productividad no siguió el patrón que presentan los demás meses, es decir máximas productividades en la más alta intensidad de luz y mínima producción en las incubaciones con 9 % de I₀. A diferencia de todos los otros meses no se presentó una diferencia estadísticamente significativa en ninguna de las intensidades de luz. Un aspecto importante de este mes es que la incubación duró aproximadamente 1 hora y media lo cual al parecer por el comportamiento de los datos fue mucho tiempo y se presentó una fotorespiración provocada por una alta concentración de oxígeno en el medio. Se esperaría que la saturación de oxígeno ocurriera en las incubaciones en donde la intensidad de luz es mayor (88 y 40 % de I₀) por lo que los resultados obtenidos a estas intensidades lumínicas deben ser tomadas con reserva a diferencia de los valores obtenidos en los experimentos a 27, 16 y 9 % de la luz incidente que no se alejan del comportamiento presentado en otros meses, por lo que se puede considerar que a estas intensidades no ocurrió una fotorespiración.

El decaimiento en la productividad de G. pectinata que se inicia en el mes de abril (Fig. 3) puede estar relacionado con el aumento de la temperatura que se inició en este mes. Este decaimiento coincidió además con un

notorio decremento en el tamaño de los mantos. La temperatura y las altas intensidades de luz son factores que afectan de una manera drástica a esta especie (Pacheco-Ruiz y Zertuche-González en prensa) y probablemente no se podría pensar en una falta de nutrientes debido a que esta zona es característica por su alta concentración de nutrientes. La intensidad de luz en esta zona y en esta época no es un limitante, ya que las máximas irradiancias se tienen desde mayo hasta septiembre, además de que el agua es muy transparente.

Con respecto a la respiración, en diciembre y mayo se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas. Esto se debió probablemente a una falta de rapidez en sacar los ejemplares de los tubos oscuros y fijar la muestra de agua para los análisis de oxígeno disuelto. Se pudo notar que solo son necesarios unos cuantos minutos para que los resultados de la respiración sean alterados. Lo anterior se debe a la alta velocidad de liberación de oxígeno que presenta esta especie al ser expuesta a la luz. El que se obtengan valores confiables de respiración en este tipo de alga, con alta productividad, depende de que los ejemplares de las botellas oscuras no sean expuestos a la luz.

Los valores de respiración son aproximadamente el doble de los reportados por la literatura. Esto es de esperarse ya que ejemplares que son muy productivos tienen tasas

respiratorias también altas (Buesa 1977).

Al igual que O'Neal y Prince (1982), se encontró que las mínimas tasas respiratorias se estimaron mientras la fotosíntesis era máxima, y la más alta respiración en épocas cuando los ejemplares tenían la mínima productividad.

La razón F/R es un indicador más confiable del incremento de biomasa de un alga ya que se pueden encontrar ejemplares con una alta fotosíntesis pero que también tengan una alta respiración por lo que la fijación de carbón por el ejemplar no sería tan alta como por ejemplo en aquellas algas en la que se tengan una no muy alta productividad pero una muy baja respiración.

La máxima razón de fotosíntesis/respiración (F/R) se obtuvo para el mes de febrero en las incubaciones realizadas con el 40 % de I₀ que fue de 34.4 significa que la fotosíntesis era 34.4 veces más rápida que la respiración. Por lo anterior la productividad fue máxima en este mes, además de que en estas fechas fue cuando se encontraron los mantos en un mejor estado. La mínima razón de fotosíntesis/respiración se encontró en el mes de julio estimándose en 2.9; es decir que la fotosíntesis en este mes fue solo 2.9 veces más grande que la respiración. Esto también era de esperarse ya que en este mes se estimaron las mínimas productividades así como la máxima respiración. Este valor de fotosíntesis/respiración coincidió con un notorio deterioro de las plantas y del manto estudiado.

Entre los estudios sobre la razón fotosíntesis/respiración los valores fluctúan entre 1.0 y 26.0 (Doty 1971; Buesa 1977; Burris 1977; O'Neal y Prince 1982), por lo que los valores mínimos encontrados en este trabajo están dentro de los rangos encontrados por otros autores. Sin embargo, las tasas máximas son casi 2 veces más altas que las reportadas en la literatura. Esta es otra evidencia del alto potencial de crecimiento que tiene esta especie.

La respiración siguió el mismo patrón que la temperatura, siendo mínima en los meses con temperaturas más bajas para luego empezar a subir en abril y llegar a ser máxima en julio, que son los meses del año con las más altas temperaturas. El comportamiento anterior ya ha sido reportado por otros autores (Mathieson y Burns 1971) debido a que la respiración es un proceso enzimático que a mayor temperatura, mayor rapidez con la que se llevarán a cabo dichas reacciones. Además el aumento en la respiración en los últimos meses puede deberse también a el ciclo endógeno de crecimiento de G. pectinata.

El crecimiento se comportó de una manera similar a la productividad, lo cual era de esperarse ya que la fotosíntesis da como resultado crecimiento (Fig. 6). A mayor profundidad se encontró menor tasa de crecimiento. En los tres primeros meses se encontró que en profundidades muy

someras la tasa de crecimiento diario declinaba, lo cual es un comportamiento normal ya que como la fotosíntesis, el crecimiento también presenta una intensidad de luz de saturación.

El crecimiento fue máximo en el mes de abril mientras que los valores máximos de productividad se estimaron en febrero, es decir que existe un defasamiento de dos meses entre los valores máximos de crecimiento y productividad. Lo anterior probablemente se deba a que un máximo de productividad no se refleja inmediatamente en el crecimiento, sino hasta la siguiente medición de crecimiento, cuando los productos de la fotosíntesis máxima se ha incorporado al tejido y se refleja en el crecimiento.

Pacheco-Ruiz y Zertuche-González (en prensa) estimaron que para Gigartina pectinata temperaturas mayores de 26°C e intensidades de luz mayores a los $69 \frac{\text{microeinteins}}{\text{m}^2/\text{s}}$ las plantas morían por lo que probablemente debido al aumento de la temperatura del agua el porcentaje de crecimiento diario disminuyó. En el mes de mayo la temperatura no llegó a 26°C pero fue mayor que los meses anteriores por lo que el crecimiento disminuyó.

En todos los casos, en el mes de julio la tasa de crecimiento disminuyó considerablemente. A los dos metros de profundidad no se encontraron plantas debido a que en este mes se presentaron temperaturas e irradiancias más altas de las que Pacheco-Ruiz y Zertuche-González (en prensa)

reportaron como letales.

Se hubiera esperado que en el mes de julio las mayores tasas de crecimiento se presentaran a los cinco metros de profundidad y mínimas a los tres metros debido a que en la zona más profunda se tienen menores temperatura y una menor irradiancia que en la superficie. Lo anterior indica que tal vez no solamente la temperatura y la luz fueron factores limitantes en este mes.

En general los valores de porcentaje de crecimiento diario son bastante altos comparados con los de otras algas que fueron medidos en trabajos de campo (Harger y Neushul 1982), siendo el doble de los estimados para Macrocystis pyrifera que es considerada como una especie con crecimiento muy acelerado. Los valores encontrados para esa especie, en condiciones óptimas de luz y temperatura en laboratorio, son poco más del doble que los encontrados en este estudio en condiciones naturales. Lo anterior probablemente se debe a que en el medio ambiente las condiciones no son óptimas como lo son en algunos estudios realizados en laboratorio, como son el sombreado que se provoca cuando los ejemplares empiezan a crecer, la temperatura, y el efecto de la depredación por los epibiontes y otros organismos entre otros.

Es importante remarcar la alta productividad de Gigartina pectinata que la convierten en una de las especies

con más alto crecimiento en el medio ambiente marino. Lo anterior es de gran importancia ya que por este rápido crecimiento además de la presencia del kappa carragenano puede considerarse como una alga con un gran potencial económico.

CONCLUSIONES

- Gigartina pectinata es una especie con altas tasas de fotosíntesis, respiración y crecimiento.

- Debido a su alta productividad y la presencia del kappa carragenano, esta especie es de un alto valor económico.

- La productividad de Gigartina pectinata es afectada significativamente por la intensidad de luz y de acuerdo a la época del año. El crecimiento solo fue afectado de acuerdo a la época del año.

- El tiempo de incubación para esta especie debe ser menor a 1.25 horas para evitar efectos de saturación de oxígeno en el medio de incubación.

- El decaimiento de la productividad y el crecimiento de Gigartina pectinata en el medio ambiente natural es probablemente provocada por la alta temperatura y las altas intensidades de luz.

- Los efectos de fotorespiración son más notorios para aquellos ejemplares incubados a intensidades de luz mayores.

LITERATURA CITADA

Adams, M.S. y W. Stone. 1973. Field studies on Photosynthesis of Cladophora glomerata (Chlorophyta) in Green Bay, Lake Michigan. Ecology, 54: 853-862.

Anderson, N.S. y D.A. Rees. 1966. The repeating structure of some polysaccharide sulfates from red seaweed. Proc. 5th Int. Seaweed Symp., Halifax, Canada, 1965:243-249.

Arnold, K.E. y S.L. Manley. 1985. Carbon allocation in Macrocystis pyrifera (Phaeophyta): intrinsic variability in photosynthesis and respiration. J. Phycol., 21:154-167.

Arnold, K.E. y S.N. Murray. 1980. Relationships between irradiance and photosynthesis for marine benthic green algae (Chlorophyta) of differing morphologies. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 43:183-192.

Bakus, G.J. 1969. Energetics and feeding in shallow marine waters. Intern. Rev. Gen. and Expt. Zool., 4:273-369.

Barnard, J.L. y J.R. Grady. 1968. A biological survey of Bahía de Los Angeles, Gulf of California, Mexico. I. General account. San Diego Soc. Nat. Hist., Trans., 15:51-66.

Bold, H.C. y M.J. Wynne. 1978. Introduction to the algae, structure and reproduction. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. 710 pp.

Brinkhuis, B.H.. 1977. Comparasions of salt-marsh fucoids production estimated from three different indices. J. Phycol. 13:328-335.

Brinkhuis, B.H.. 1985. Growth patterns and rates. In Ecological Field Methods: Macroalgae, Littler, M.M. y Littler, D.S. (eds), Cambridge University Press, 461-477.

Buesa, R. J.. 1977. Photosynthesis and respiration of some tropical marine plants. Aquat. Bot. 3:203-216.

Burris, J.E. . 1977. Photosynthesis, photorespiration, and dark respiration in eighth species of algae. Mar. Bot. 39:371-379.

Dawes, C.J.. 1986. *Botanica Marina*. Ed. LIMUSA, S.A.
578 pp.

Dawson, E.Y.. 1944. The marine algae of the Gulf of California. *Allan Hancock Pacific Expeditions* 3:189-453.47 pls.

Dawson, E.Y.. 1961. Marine red algae of Pacific Mexico. Part 4. Gigartinales. *Pac. Naturalist* 2:189-343.

Doty, M.S.. 1971. Antecedent event influence on benthic marine algal standing crops in Hawaii. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 6:161-166.

Guzman del Proo, S.A.. 1969. Los recursos vegetales marinos de Baja California, México. *Proc. Int. Seaweed Symp.* 6:685-690.

Harger, W.W. y M. Neushul. 1982. Macroalgal mariculture. In: *Biosaline research: a look to the Future*. San Pietro (ed). Plenum Publishing Corporation. 393-404 pps.

Johnston, C.S.. 1969. The ecological distribution and primary production of macrophytic marine algae in the Eastern Canaries. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.*, 54:473-490.

Kanwisher, J.W.. 1966. Photosynthesis and respiration in some seaweeds. In: Some Contemporary Studies in Marine Sciences, H. Barnes (ed). Allen & Unwin, LTD, London, pp. 407-420.

King, R.J. y W. Scramm. 1976. Photosynthetic rates of benthic marine algae in relation to light intensity and seasonal variations. Mar. Biol., 37:215-222.

Koch, E.W. y J. Lawrence. 1987. Photosynthetic and respiratory responses to salinity changes in red alga Gracilaria verrucosa. Bot. Mar., 30:327-329.

Lapointe, B.E. ; K.R. Tenore y C.J. Dawes. 1984. Interactions between light and temperature on physiological ecology of Gracilaria tikvahiae (Gigartinales: Rhodophyta). Mar. Biol., 80:161-170.

Lee, E.. 1980. Phycology. Cambridge University press. pps. 286-350.

Levring, T.,H.A. Hoppe y O.J. Schmid. 1969. Marine algae: A Survey of Research and Utilization. Bot. Mar. Handbook, Cram de Gruyter and Co., Hamburg, germany, 421 pp.

Littler, M.M. 1979. The effect of bottle volume, thallus weight, oxygen saturation levels and water movement on apparent photosynthetic rates in marine algae. *Aquat. Bot.* 7:21-34.

Littler, M.M.. 1980. Morphological form and Photosynthetic performances of marine macroalgae: Test of a functional/form hypothesis. *Bot. Mar.* 22:161-165.

Littler, M.M. y S.N. Murray. 1974. The primary productivity of marine macrophytes from a rocky intertidal community. *Mar. Biol.*, 27:131-135.

Littler, M.M. y K.E. Arnold. 1980. Sources of variability in macroalgal primary productivity :sampling and interpretative problems. *Aquat. Bot.*, 8:141-156.

Littler, M.M. y K.E. Arnold. 1982. Primary-productivity of marine macroalgal functional form groups from southwestern North America. *J. Phycol.*, 18:307-311.

Littler, M.M.; S.N. Murray y K.E. Arnold.. 1979. Seasonal variations in net photosynthetic performance and cover of intertidal macrophytes. *Aquat. Bot.* 7:35-46.

Lobban, C.S. ; P.J. Harrison y M.J. Duncan. 1985. The Physiological ecology of seaweeds. Cambridge University press. Cambridge, 424 pp.

Mann, K.H.. 1973. Seaweeds: Their productivity and strategy for growth. Science. 182:975-981.

Mathieson, A.C. y R.L. Burns. 1971. Ecological studies of economic red algae. I. Photosynthesis and respiration of Chondrus crispus Stackhouse and Gigartina stellata (Stackhouse) Batters. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 7:197-206.

Mathieson, A.C. y T.L. Norall.. 1975. Physiological studies of subtidial red algae. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 20:273-247.

Merril, J.E. y J.R. Waaland. 1979. Photosynthesis and respiration in a fast growing strain of Gigartina exasperata (Harvey and Baily). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 39:281-290.

Mishkind. M. ; D. Mauzerall y S.I. Beale. 1979. Diurnal variation in situ of photosynthetic capacity in Ulva Is. caused by dark reaction. Plant Physiol., 64:896-899.

Morris, I.. 1981. Photosynthetic products, physiological state, and phytoplankton growth. In, Physiological Bases of Phytoplankton Ecology. T. Platt (ed.) Canadian Bull. of Fish. aquatic Sciences.

Norris, J.N. 1972. Marine algae from the 1969 cruise of "makrele" to the northern part of the Gulf of California. Biol. Soc. Bot. México.32:1-30.

Norris, J.N. 1975. The marine algae of the Gulf of California. Tesis doctoral.

Odum, E.P., E.J. Kuenzer y M.X. Blunt. 1958. Uptake of P³² and primary productivity in marine benthic algae. Limnol. Oceanogr., 3:340-345.

O'Neal, S.W. y J.S. Prince. 1982. Relationship between seasonal growth, photosynthetic production and apex mortality of Caulerpa paspaliodes (Chlorophyceae). Mar. Biol., 72:61-67.

Pacheco-Ruiz, I y J.A. Zertuche-González.. (En prensa). Variación estacional de la biomasa y estadios reproductivos de Gigartina pectinata Dawson (Gigartinales; Rhodophyta) en el Golfo de California, México, Ciencias Marinas.

Penniman, C.A. y A.C. Mathieson. 1985. Photosynthesis of Gracilaria tikvahiae McLachlan (Gigartinales, Rhodophyta) from the Great Bay Estuary, New Hampshire. Bot. Mar. 28:427-435.

Quadir, A. ; P.J. Harrison y R.E.C. De Wreede.. 1979. The effects of emergence and submergence on the photosynthesis and respiration of marine macrophytes. Phycologia, 18:83-88.

Ramus, J.. 1978. Seaweed anatomy and photosynthesis performance. The ecological significance of light guides, heterogeneous absorption and multiple scatter. J. Phycol. 14:352-362.

Ramus, J. ; S.I. Beale y D. Mauzerall. 1976. Correlation of changes in pigment content with photosynthetic capacity of seaweed as a function of water depth. Mar. Biol. 37:231-238.

Ramus, J. y J. Rosenberg. 1980. Diurnal photosynthetic performance of seaweed measured under natural conditions. Mar. Biol. 56:21-28.

Ryther, J.H.. 1963. Geographic variations in productivity. In: The sea. Vol. 2. M.N. Hill (ed) Interscience Publishers. New York. pp. 347-380.

Strickland, J.D.H. y T.R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bull. Fish. Res. Board. Can. 167. 310 pp.

Towle, D.W. y J. S. Pearse. 1973. Production of the gigant kelp Macrocystis pyrifera estimated by in situ incorporation of ¹⁴C in polyethylene bags. Limnol. Ocenogr., 18:155-159.

Vollenweider, R.A. 1969. A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments. Blackwells, oxford. (International Biological Program Handbook No. 12) 213 pp.

Wassman, E.R. y J. Ramus. 1973. Primary-production measurements for the green seaweed Codium fragile in Long Island Sound. Mar. Biol. 24:289-297.

Zar, J.H. 1974. Biostatistical analysis. Prentice-Hall, Inc. 1a ed. Englewood Cliffs, N.J. 620 pp.

Zazueta-Gonzalez, E; J. Guardado-Puentes, H. Rivera-Carro,
E. Hernandez-Garibay. 1987. Estudio quimico comparativo de
los carragenanos aislados de 4 especies de Gigartina
RESUMENES del VII Congreso Nacional de Oceanografia, 410 p.

Zertuche-González, J.A.; Z. Garcia-Ezquivel y B.Brinkhuis.
(en prensa). Cultivo en tanques exteriores del alga roja
Eucheuma uncinatum del Golfo de California, Ciencias
Marinas.