

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

"CULTIVO DE Gelidium robustum (Gardn.) Hollenb. & Abb.
EN TANQUES EXTERIORES BAJO DIFERENTES INTENSIDADES DE
MOVIMIENTO, PERIODOS DE FERTILIZACION Y ADICION DE CO₂ "



TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO
PRESENTA

AIDA MARIA BARBOSA PATJANE

Ensenada, B.C.

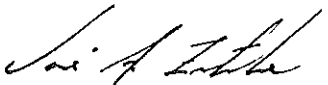
Febrero de 1990

"CULTIVO DE Gelidium robustum (Gardn.) Hollenb. & Abb.
EN TANQUES EXTERIORES BAJO DIFERENTES INTENSIDADES DE
MOVIMIENTO, PERIODOS DE FERTILIZACION Y ADICION DE CO₂."

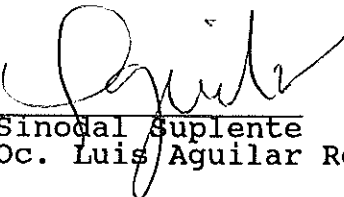
T E S I S
QUE PRESENTA:
AIDA MARIA BARBOSA PATJANE

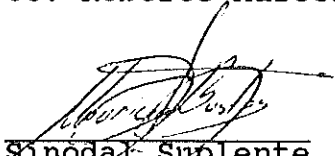
Aprobada por:


Presidente del jurado
Oc. Isaí Pacheco Ruíz


Sinodal Propietario
Dr. José A. Zertuche González


Sinodal Propietario
Oc. Roberto Marcos Ramírez


Sinodal Suplente
Oc. Luis Aguilar Rosas


Sinodal Suplente
Oc. Mauricio Bustos Barrera

DEDICATORIA

A TI PAPA;

POR TODO EL APOYO Y CARINO
A LO LARGO DE TODOS ESTOS AÑOS

A TI MAMA;

POR TU CARINO Y COMPRESION

A MIS HERMANOS;

PEPE, JOAQUIN, ALEJANDRO, ROBERTO, GABRIELA
Y EL NUEVO PEQUENO, JOSE CARLOS

A MI ABUELA;

MAMA CHATA

A MI TIA TITA

..... Y A LA MEMORIA DE MI TIO HUGO

A TODA MI FAMILIA

CON MUCHO CARINO

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis Oc. Isaf Pacheco Ruiz, por haber dirigido este trabajo, por sus enseñanzas, críticas, recomendaciones y tiempo compartido.

De manera especial al Dr. José A. Zertuche González por sus observaciones y sugerencias en este trabajo.

A mis sinodales, Oc. Luis Aguilar Rosas, Oc. Roberto Marcos Ramírez, y Oc. Mauricio Bustos Barrera, por sus revisiones y acertadas críticas en este trabajo.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas y a la Facultad de Ciencias Marinas, por el apoyo brindado.

Al Oc. Marco Aurelio González ("Marquiux"), por su gran ayuda y colaboración a lo largo de toda la elaboración de esta tesis.

A mis servicios sociales, Lorena (por esos "acontecimientos tan similares"), Angel, Marcos y Temo, principalmente por esas largas jornadas cepillando epífitas!!!.

Mis más sinceros agradecimientos al Oc. Sergio Larios (El "guerito"), por toda la ayuda y "paciencia" que me brindo en la elaboración del escrito, (además de ese "canijo transtorno" por que ya llegaba a darle lata), tablas, gráficas, y sobre todo por su amistad. De la misma manera quiero agradecerle al M.C. Oscar Delgado, su apoyo al facilitarme el uso de las computadoras del Area de Oceanografía Física, por todas sus finas atenciones y su amistad.

A todo el equipo de Oceanografía Física y Departamento de Electrónica del I.I.O., Tito, Luis "Jelipe", "Chacha Charlie", Asdrubal, Gil, White (El "Little Father"), Lacho, Mike y Oscar L. por todas sus atenciones, amistad y permitirme formar parte del equipo!!.

A todos mis compañeros de la XXV generación "PEPE LE PIEU".

A mis "colegas" de tesis, Chapis, Geraldine ("Nerd #1"), Temo, Manolo, Panchito, Esteban, Israel, Winnie, Rolando, Margarita, Candido, "Chipili buqui tú" (El "Chino"), Paty, Vicky, y a los que no recuerdo en este momento.

A mis tíos Joaquín y Elsa, por haberme brindado su apoyo y consejo durante estos años.

A la familia García, y en especial a la Sra. Lupita por haberme permitido convivir y compartir su mesa, haciéndome sentir como en familia. A sus hijas (e hijo), Ariane, Mirna, Becky, Irina, Claudia y Rubén.

A la familia Becerril, por la amistad que llegue a compartir.

A Gabriel, por todo el entusiasmo y apoyo que me brindo.

A mi "roommate" Lucy, por "esas" hazañas compartidas

A el equipo de aerobics, por todas las ganas que le pusieron!

A todos ustedes amigos míos y conocidos que no mencione y que de alguna manera contribuyeron a mi formación no únicamente como profesionista si no también a seguir mejorando como ser humano.

GRACIAS!!!

RESUMEN

Se midió el crecimiento de *Gelidium robustum* en un sistema de cultivo abierto, bajo el efecto de: diferentes intensidades de movimiento (20 l/min., 50 l/min., 80 l/min. y el control), diferentes períodos de fertilización (una vez cada dos semanas, una vez /semana, dos veces/semana y tres veces/semana) con 150 μM NaNO_3 : 15 μM Na_2HPO_4 y adición de CO_2 como complemento de la fertilización (una vez/semana, tres veces/semana, siete días/semana y el control).

El tiempo de asimilación de nutrimentos para *G. robustum* y fué en los primeros 15 minutos.

Las máximas tasas de crecimiento en los diferentes períodos de fertilización se registraron para plantas fertilizadas tres veces por semana (3.1%/día). El máximo rendimiento de agar (40.0%) se obtuvo de plantas fertilizadas una vez por semana.

El movimiento incrementó el crecimiento de *G. robustum* hasta 3.9%/día como máximo a intensidades de 80 l/min. La humedad máxima y mínima para los experimentos fué de 71.0% y 65.0%.

No se observaron diferencias en el crecimiento de *G. robustum* bajo la fertilización de CO_2 , los crecimientos fueron iguales (3.0%/día).

LISTA DE TABLAS

Tabla		pag.
I.	Comparaciones múltiples del crecimiento promedio de <i>G. robustum</i> bajo diferentes períodos de fertilización, aplicando la prueba de Tukey-Kramer.	18
II.	Rendimiento de agar obtenido de <i>G. robustum</i> , expresado en porcentaje de gel/g de planta peso seco. + = E.E. n = 4	19
III.	Comparaciones múltiples del crecimiento promedio de <i>G. robustum</i> , bajo diferentes condiciones de movimiento, aplicando la prueba de Tukey-Kramer.	21
IV.	Comparaciones múltiples del crecimiento promedio de <i>G. robustum</i> , bajo diferentes intensidades de movimiento aplicando la prueba de Tukey-Kramer.	23

LISTA DE FIGURAS

Figura		pág.
1.	Diagrama de estanquería utilizada para los experimentos de crecimiento	7
2.	Diseño experimental para plantas individuales de <i>G. robustum</i> en tanques de cultivo	10
3.	Tiempo de asimilación de nitratos y fosfatos para <i>G. robustum</i> , Abril 12 de 1988.	14
4.	Luz incidente durante el experimento de asimilación de nutrientes para <i>G. robustum</i> ..	15
5.	Temperatura del agua de mar en tanque durante el experimento de asimilación de nutrimentos.	16
6.	Crecimiento en peso húmedo de <i>G. robustum</i> bajo diferentes períodos de fertilización (A, 3 veces/semana, B, 2 veces/semana, C, 1 vez/semana y D, 1 vez cada 2 semanas), de Febrero 22 al 5 de Abril de 1988. I = E.E. n = 2	17
7.	Crecimiento en peso húmedo de <i>G. robustum</i> bajo diferentes condiciones de movimiento (A, plantas fijas con movimiento, B, plantas sueltas con movimiento, C, plantas sin movimiento), de Mayo 9 al 30 de 1989. I = E.E. n = 20	20
8.	Crecimiento en peso húmedo de <i>G. robustum</i> bajo diferentes intensidades de movimiento (A, 80 l/min., B, 50 l/min., C, 20 l/min. y D, sin movimiento), de Marzo 13 a Abril 17 de 1987. I = E.E. n = 2	22
9.	Crecimiento en peso húmedo de <i>G. robustum</i> bajo diferentes períodos de fertilización con CO ₂ (A, sin fertilizar, B, 1 vez/semana, C, 3 veces/semana y D, 7 veces/semana), de Junio 30 a Agosto 7 de 1989. n = 30	24

INDICE

	pag
INTRODUCCION.	1
OBJETIVOS.	5
MATERIALES Y METODOS.	6
RESULTADOS.	13
DISCUSIONES.	25
CONCLUSIONES.	30
LITERATURA CITADA.	31

1 INTRODUCCION

El alga roja productora de agar *Gelidium robustum* presenta crecimientos bajos. Las máximas razones de crecimiento observadas han sido reportadas para Bahía Salsipuedes., B. C., durante el verano (0.63 mm/día) y las mínimas en otoño (-0.63 mm/día) (Guzmán del Prío y de la Campa de Guzmán, 1978). Este es uno de los obstáculos más serios que se presenta para el cultivo de *G. robustum*. Stewart (1984) considera al bajo crecimiento de la familia Gelidiaceae como una característica inherente que puede ser levemente manipulada, controlando algunos de los factores físicos externos. Barilotti (1980), afirma que *G. robustum* puede crecer mejor en partes expuestas y verticales de los fondos rocosos en comparación con las zonas someras. Avendaño-Herrera (1988), midiendo el crecimiento "in situ", en dos lugares con características ambientales iguales, con excepción del movimiento de agua, demuestra que el movimiento de agua ejerce influencia sobre el crecimiento de *G. robustum*, encontrando que los mayores crecimientos medidos para esta especie (2.07 mm/día) se presentaron en la zona con mayor exposición a las corrientes. Lo anterior sugiere que el crecimiento de *G. robustum* puede verse acelerado si se incrementa el movimiento de agua en condiciones de cultivo semicontrolado, dado que éste factor constituye un elemento importante en el incremento del crecimiento, al causar tensión en las plantas, elevar la captación de nutrimentos, gases y otras sustancias (Charters *et al.*, 1969, 1973; Gerard y Mann 1979; Koehl y Wainwright, 1977; Westlake 1967; Wheeler, 1980).

Otro factor que influye de una manera directa en el desarrollo de las algas es la disponibilidad de nutrimentos, dado que éstos son factores reguladores del crecimiento (DeBoer, 1985). Harger y Neushul (1982), encontraron que el bajo crecimiento de *G. robustum* se incrementa en cultivos "in situ" mediante la adición de una manera continua de un suplemento externo de nutrimentos, además observaron que *G. robustum* llega a tener un crecimiento de 0.35%/día con una fuente de nutrimento adicional. Aunque su crecimiento es bajo, éste es mucho más alto que cuando no tiene el suministro externo en el cultivo (-1.54%/día). Rodríguez-Carrillo (1987), demuestra que bajo condiciones de fertilización con NaN_3 por pulsos cada tres días durante dos horas y cosechas semanales del tejido joven, se pueden mantener los cultivos de *G. robustum* creciendo vigorosamente a una tasa de 4.9%/día. Cabe señalar que en estos estudios no se definen los períodos óptimos para la fertilización de cultivos, si no que se dan de una manera arbitraria.

D'Elia y DeBoer (1978), consideran que se ha puesto poca atención a la relación que existe entre la adición de nutrimentos, razones de crecimiento, y las razones de asimilación de nutrimentos. Este conocimiento básico es esencial para evaluar el manejo efectivo de sistemas de cultivo, en los cuales su fin son obtener una óptima productividad y una máxima utilización de los nutrimentos. Hasta ahora no se han reportado estudios sobre el tiempo de asimilación de nutrimentos para *G. robustum*, sin embargo sí se ha estudiado en *Agardhiella subulata* la cual asimiló en cinco horas $60\mu\text{M}$ de NH_4^+ ,

y así como también para *Gracilaria foliifera* que presentó una asimilación de NO_3^- de una concentración de $7\mu\text{M}$ a $0\mu\text{M}$ de NO_3^- en un tiempo de cuatro horas (D'Elia y Deboer, 1978).

Tseng y Sweeney (1946), mencionan que una forma alternativa de complementar la fertilización del medio de cultivo es utilizar bióxido de carbono para aumentar la tasa fotosintética y que la concentración de bióxido de carbono libre en el medio externo es un factor limitante más que la concentración del ión bicarbonato. Además demuestran que la tasa fotosintética de *G. robustum* se incrementa en un alto porcentaje al aumentar la concentración de bióxido de carbono por la adición de sales de bicarbonato de potasio (KHCO_3) y bicarbonato de sodio (NaHCO_3) y reduciendo el pH con HCl .

Los cambios de pH en el medio tienen influencia en las tasas de fotosíntesis al afectar el balance iónico en el protoplasma y cambiar la proporción relativa entre CO_2 / HCO_3^- / CO_3^{2-} estas variaciones han sido estudiadas en algas marinas por Dromgoole (1978), Jolliffe y Treguna (1970), quienes observaron decrementos en la respuesta fotosintética a pH altos mayores de 8 e incrementos en la tasa fotosintética al disminuir el pH a las especies que utilizan. Bidwell, *et al* (1985), realizaron cultivos en tanques con *Chondrus crispus* y encontraron que la biomasa del alga se incrementaba conforme la cantidad de CO_2 aumentaba. Encontrando el máximo crecimiento a un pH de 7.7.

Partiendo de que la adición de CO_2 como complemento de la fertilización, el movimiento de agua, los diferentes períodos de

fertilización y el tiempo de fertilización, se vuelven indispensables para la obtención de crecimientos óptimos algales, en éste trabajo se pretende realizar estudios sobre los efectos de estos factores en el crecimiento de *G. robustum*, donde se espera incrementar el crecimiento de *G. robustum* aumentando la intensidad de movimiento de agua en tanques, a mayores frecuencias de fertilización y la adición de CO₂ como complemento de la fertilización.

2 OBJETIVOS

- I .- Encontrar el tiempo óptimo de fertilización para la asimilación de los nutrimentos en *G. robustum*.
- II .- Determinar el período óptimo de fertilización bajo el cual *G. robustum* presenta el mayor crecimiento, tomando como base el rendimiento de agar de cada uno de los diferentes períodos de fertilización.
- III.- Encontrar la intensidad de movimiento bajo el cual *G. robustum* puede crecer más eficientemente.
- IV .- Determinar si el efecto de la adición de CO₂ como nutrimento influye en el crecimiento de *G. robustum*.

3 MATERIALES Y METODOS

Ejemplares de *G. robustum* se colectaron en comunidades submareales de la Costa Norte de la Bahía de Todos Santos en Ensenada B. C. Las plantas limpias de epífitas, se aclimataron por un período de 2 semanas en un sistema de cultivo al aire libre. Este sistema que consistió en tambos de plástico de 200 litros cortados en dos longitudinalmente. Cada mitad se utilizó como tanque de cultivo. Los tanques descansaron sobre bases de concreto alineados a las tuberías de aire y agua de mar que las abastecían. El aire (10 lt/min) se introdujo desde el fondo a través de un tubo de cloruro de polivinilo (PVC) de media pulgada con pequeñas perforaciones a lo largo del tanque (Fig. 1). La aereación desde el fondo permitió tener los cultivos en constante movimiento. El flujo de agua en los tanques fué de 500 ml/min. La temperatura se midió con un termómetro de máximos y mínimos (Taylor). La luz se reguló con dos mallas plásticas de 1 mm de abertura (31% de la luz incidente) y se midió con un irradiómetro sumergible (Kahlsico, 268 WA 310).

I) Tiempo óptimo de fertilización para la asimilación de nutrimentos de *G. robustum*. Para determinar el tiempo óptimo de fertilización, se colocaron 50 g de planta en un tanque de cultivo. Conociendo la concentración inicial del nutrimento (N:P) en el agua de mar más la del nutrimento agregado ($150 \mu\text{M NaNO}_3$: $15 \mu\text{M Na}_2\text{HPO}_4$) se procedió a tomar una muestra de agua de cada uno de los tanques de cultivo, a los; 15, 30, 45, 60, 90 y 120 min. con el propósito de cuantificar la asimilación del nutrimento por las plantas del medio de cultivo.

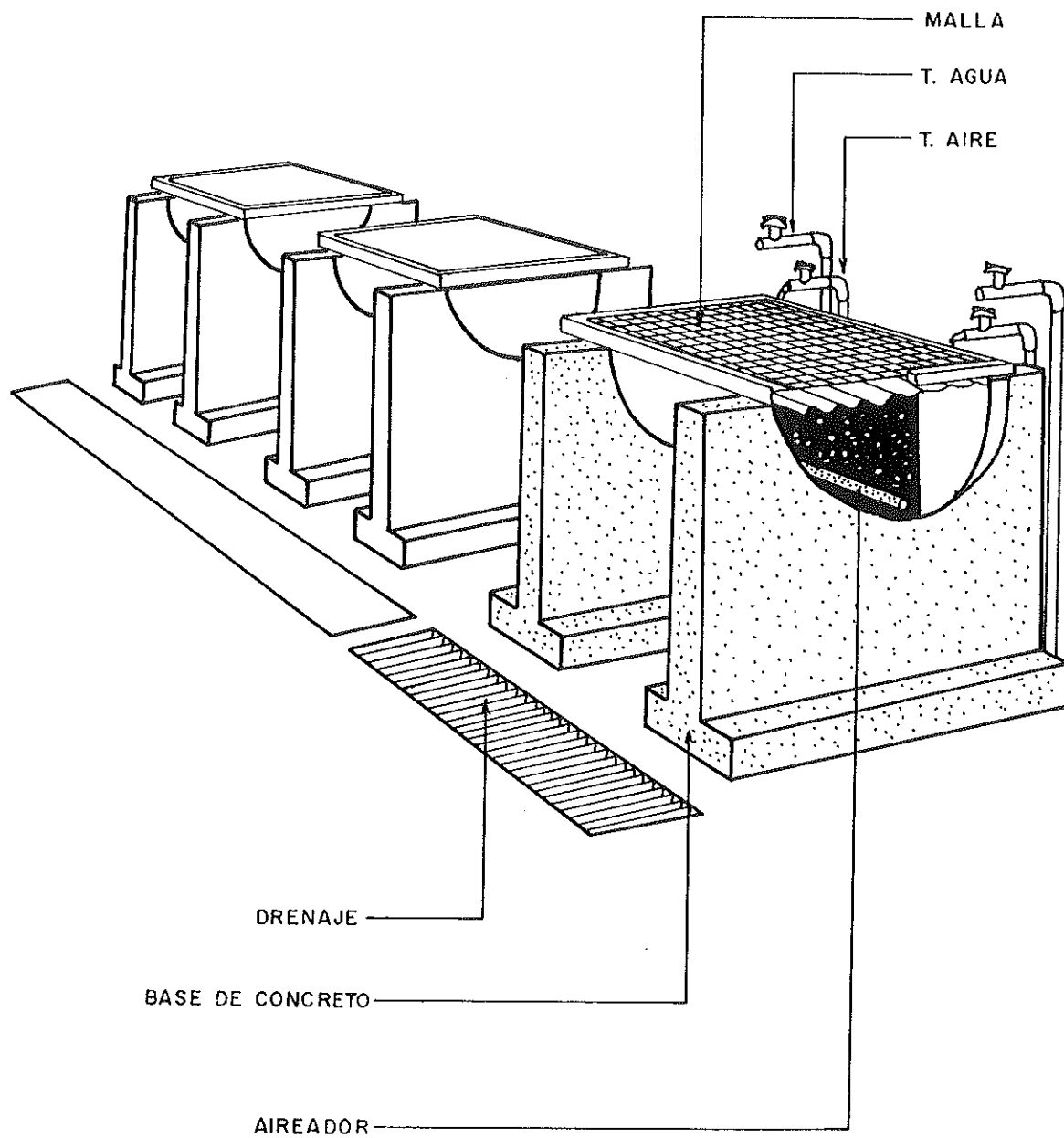


FIG. 1 - DIAGRAMA DE LA ESTANQUERIA AL AIRE LIBRE UTILIZADA PARA LOS EXPERIMENTOS DE CRECIMIENTO DE *Gelidium robustum*.

Las muestras se tomaron por duplicado y se congelaron, posteriormente se analizó el contenido de nitrógeno y fósforo de acuerdo a la metodología de Strickland y Parsons (1972). Durante el experimento se tomaron mediciones de luz se registraron los cambios de temperatura.

II) **Períodos de fertilización.** Para determinar el período de fertilización se utilizaron cuatro tanques con sus réplicas, con una biomasa de 50 g para cada uno. Los tanques de cultivo se fertilizaron una, dos y tres veces por semana y una vez cada dos semanas. A razón de $150\mu\text{M NaNO}_3$ y $15\mu\text{M Na}_2\text{HPO}_4$ durante tres horas. Se realizaron cosechas semanales del material excedente al peso inicial, eliminando las partes "viejas". Cada semana el material cosechado se pesó con epífitas y después de una limpieza manual se volvió a pesar; la diferencia fué el error por epífitas. Se determinó la humedad de las plantas limpias de epífitas del material cosechado siguiendo la metodología de Brinkhuis (1980). A una muestra inicial y final de cada uno de los tratamientos se le determinó el rendimiento de agar de acuerdo a la metodología de Craige y Leigh (1978). Los tratamientos se llevaron a cabo por un período de 56 días.

III) **Efecto del movimiento de agua en el crecimiento de *G. robustum*.** Se diseñaron dos experimentos para medir el efecto del movimiento del agua en el crecimiento de *G. robustum*. En el primer experimento, se utilizaron plantas individuales de *G. robustum*, en el segundo se utilizó biomasa.

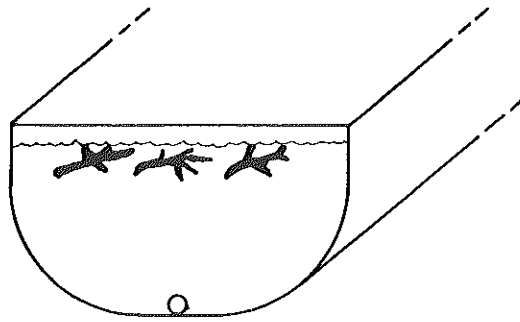
En el primer experimento se utilizaron tres tanques, en cada tanque se colocaron un total de 20 ápices de aproximadamente 10 cm de longitud de *G. robustum* previamente etiquetados y pesados. En éste experimento se utilizaron tres tratamientos diferentes; en el primero, las plantas se mantuvieron sueltas y sin movimiento. En el segundo, el movimiento se generó por medio de aire que se introdujo desde el fondo del tanque (80 l/min.), y en el tercero, el movimiento se generó de la misma forma e intensidad que el anterior, sin embargo la variante fué que las plantas se ataron a dos tubos de PVC de media pulgada. Las plantas se mantuvieron sumergidas con la finalidad de causar tensión en ellas producto de la corriente generada por la aereación (Fig. 2).

Todos los experimentos se mantuvieron con un flujo de agua continuo de 500 ml/min.

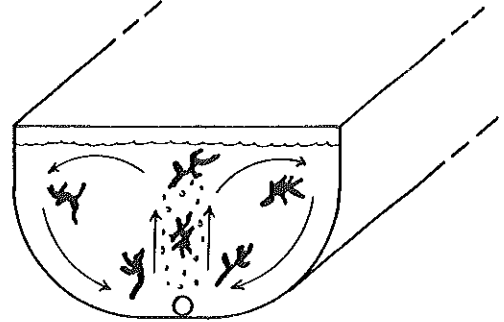
Cada tanque se fertilizó de acuerdo al período y tiempo de fertilización óptimos obtenidos en los experimentos anteriores.

Se determinó la humedad al inicio y al final de cada experimento siguiendo la metodología de Brinkhus (1980). Los tratamientos se llevaron a cabo por un período de 28 días.

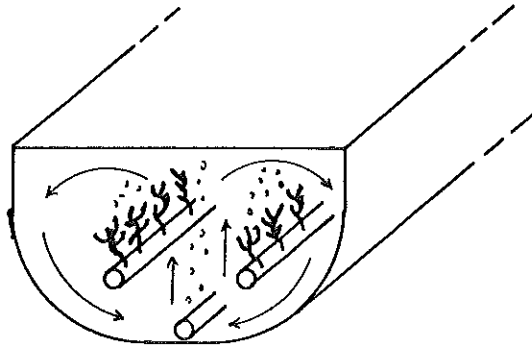
Para el segundo experimento se utilizó una biomasa de 230 g por tanque. Cuatro fueron las diferentes intensidades de movimiento a probar: El control, sin movimiento y los demás con 20, 50, y 80 l/min. de aire.



A) PLANTAS SIN MOVIMIENTO
FLOTANDO EN SUPERFICIE
DEL TANQUE



B) PLANTAS SUELTAS CON
MOVIMIENTO.



C) PLANTAS FIJAS A TUBOS DE
PVC CON MOVIMIENTO

FIG. 2 - DISEÑO EXPERIMENTAL PARA PLANTAS INDIVIDUALES DE
G. robustum EN TANQUES DE CULTIVO.

Los métodos de cosecha, la determinación de humedad, el error por epífitas y los períodos de fertilización se llevaron a cabo de igual forma que en los experimentos anteriores. La duración de los tratamientos fué de 35 días.

IV) Adición de CO₂. Para determinar el efecto del CO₂ sobre *G. robustum* se utilizaron cuatro tanques, con 30 ápices de *G. robustum* cada uno de aproximadamente 10 cm de longitud, previamente etiquetados y pesados. El control sin adición de CO₂, un segundo tanque con adición de CO₂ una vez por semana, el tercero con adición tres veces por semana y el cuarto con adiciones diarias. Los suministros de CO₂ se realizaron por las mañanas de la misma forma en que se adicionaba el aire a los tanques, hasta que el pH se fijaba en 7. Esto sucedió después de fertilizar durante cuatro minutos a 50 libras de presión. Al mismo tiempo que se fertilizó a los cultivos. El flujo de agua se cerraba y se reducía al 20% el suministro de aire en los tanques (2 l/min.). Los tratamientos se llevaron a cabo por un período de 38 días.

V) Crecimiento y análisis estadístico. Se calculó el porcentaje de crecimiento diario en peso con la expresión de Hoyle (1978).

$$G = [(Wt/Wo)(1/t) - 1] \times 100 \quad (Ec.1)$$

G= Crecimiento
Wo= Peso inicial
Wt= Peso a un tiempo X.

Todos los valores de crecimiento obtenidos en los experimentos fueron tratados mediante la prueba de bondad de ajuste para la distribución normal de Kolmogorov-Smirnov, así como la prueba de

Bartlett de homogenidad de varianza (Sokal y Rohlf, 1981). Las diferencias entre tratamientos para cada experimento se probaron mediante un análisis de varianzas (ANOVA) y un análisis de Tukey-Kramer, para comparaciones múltiples (Sokal y Rohlf, 1981).

4 RESULTADOS:

I) Tiempo óptimo de fertilización para la asimilación de nutrimentos de *G. robustum*. La asimilación de nutrimentos de *G. robustum* se llevó a cabo en su mayor parte en los primeros 15 minutos, quedando una concentración en el medio de cultivo de 54 μM de nitratos y 7.5 μM de fosfatos. En los siguientes tiempos 30, 45, 60, 90 y 120 minutos, la concentración en los cultivos no sufrió cambios significativos permaneciendo aproximadamente constantes (Fig. 3). La luz y la temperatura durante el experimento se incrementaron conforme transcurrió el día. La máxima luz se dió a las 12:00 A.M. (830 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$) y la mínima a las 9:00 A.M. (475 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$). La máxima temperatura se detectó a las 12:00 A.M. (19.5°C) y la mínima a las 9:00 A.M. (17°C) (Fig. 4 y 5).

II) Períodos de fertilización. La variación de crecimiento en peso de las plantas que se fertilizaron por períodos de tres y dos veces por semana presentaron los mayores crecimientos (3.1%/día y 2.9%/día) (Fig. 6 a, b) con mayor desarrollo en las ramificaciones respecto a los otros tratamientos. Los menores crecimientos se observaron en las plantas que se fertilizaron una vez por semana y una vez cada dos semanas (-0.36%/día y -0.3%/día) (Fig. 6 c, d).

Las diferencias significativas estadísticamente, se dieron entre los tratamientos con mayor frecuencia de fertilización (tres veces por semana y dos veces por semana) y los tratamientos con menor frecuencia (una vez por semana y una vez cada dos semanas).

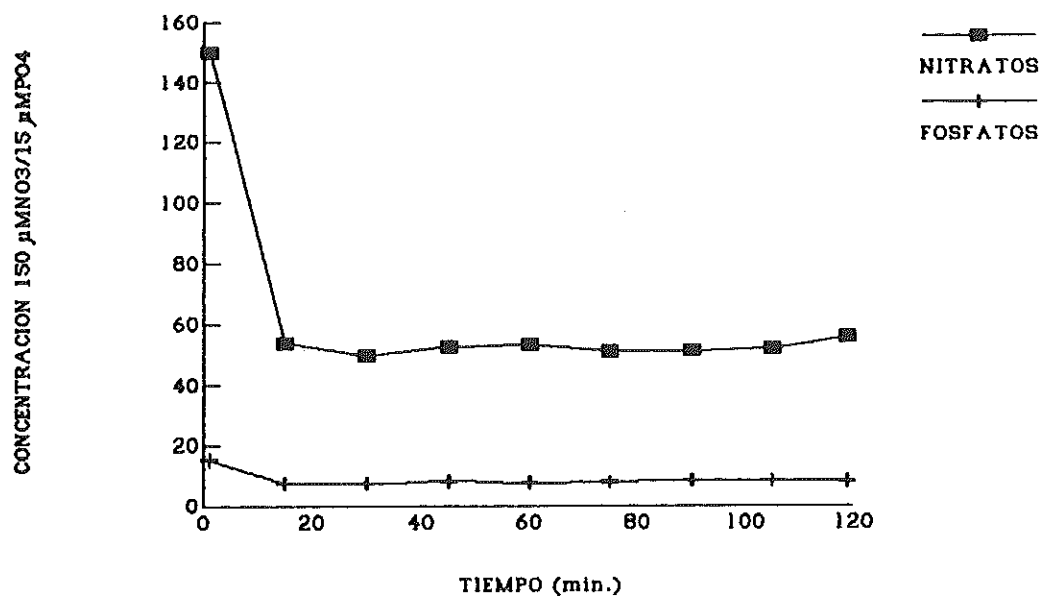


Figura 3.- Tiempo de asimilación de nitratos y fosfatos para *G. robustum*, Abril 12 de 1988.

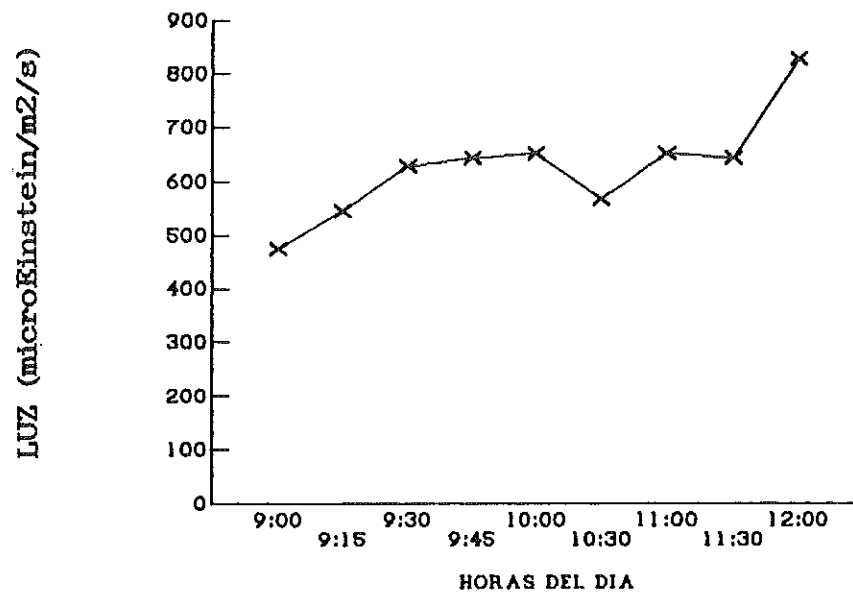


Figura 4.- Luz incidente durante el experimento de asimilación de nutrientes para *G. robustum*.

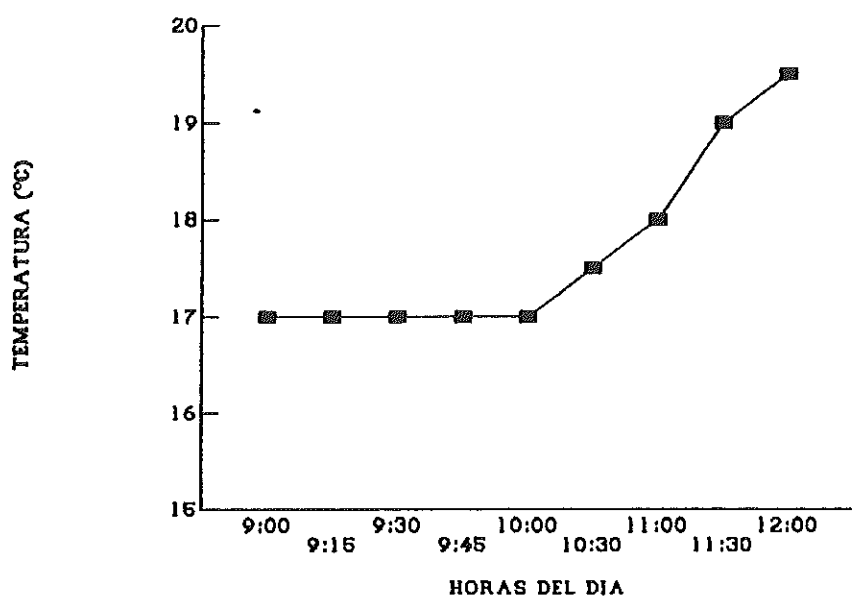


Figura 5.- Temperatura del agua de mar en tanques, durante el experimento de asimilación de nutrimentos para *G. robustum*

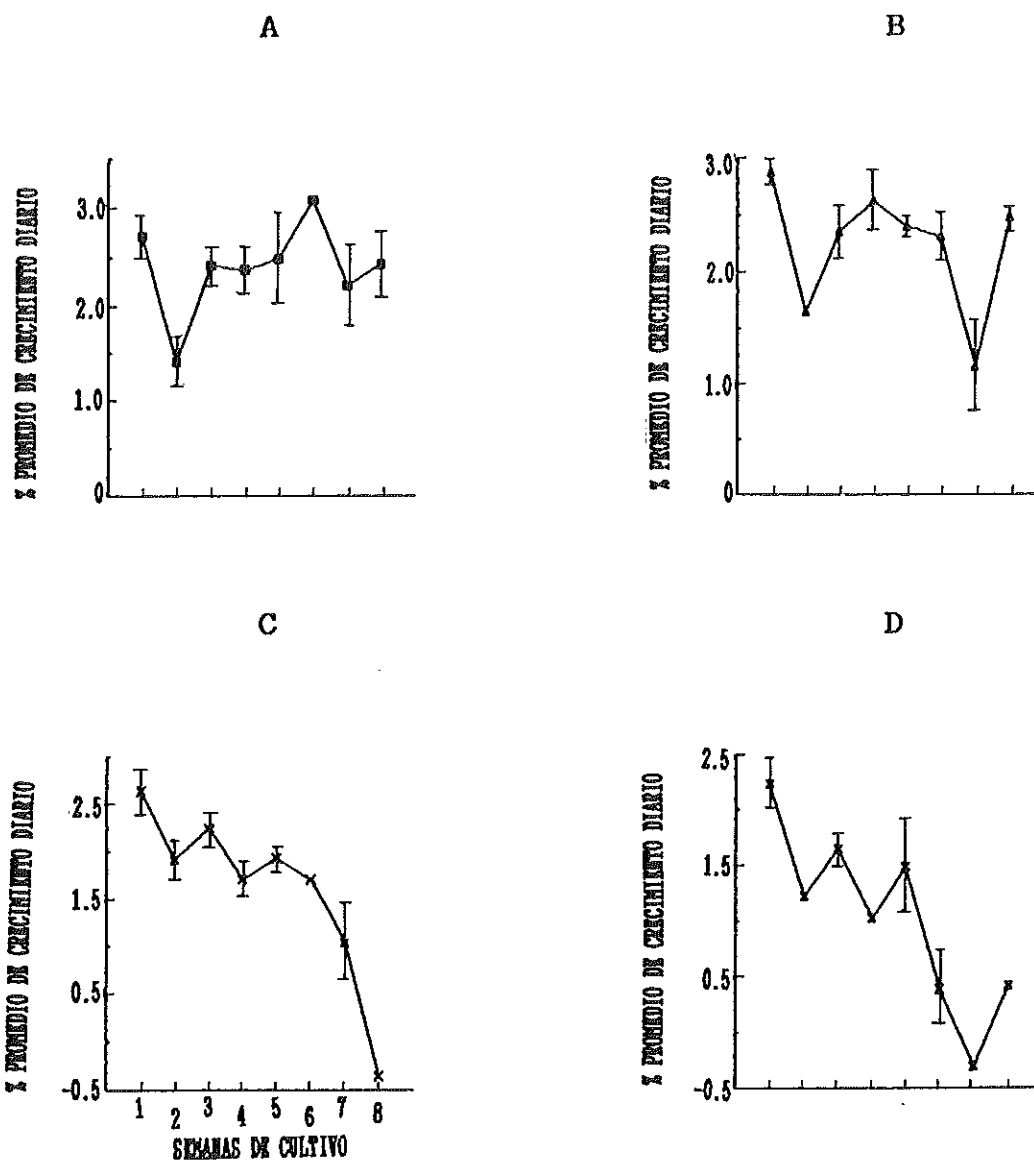


Figura 6.- Crecimiento en peso húmedo de *G. robustum* bajo diferentes períodos de fertilización (A, 3 veces/semana, B, 2 veces/semana, C, 1 vez/semana y D, 1 vez cada 2 semanas), de Febrero 22 al 5 de Abril de 1988. I = E.E. n = 2

No existieron diferencias entre las fertilizaciones de tres veces por semana y dos veces por semana, así como tampoco entre fertilizaciones de una vez por semana y una vez cada dos semanas.

Tabla I. Comparaciones múltiples del crecimiento promedio de *G. robustum* bajo diferentes períodos de fertilización, aplicando la prueba de Tukey-Kramer.

PERIODOS DE FERTILIZACION	3 VECES POR SEMANA	2 VECES POR SEMANA	1 VEZ POR SEMANA	1 VEZ CADA 2 SEMANAS
3 VECES POR SEMANA	-	0.58 (NS)	4.2 (*)	7.4 (*)
2 VECES POR SEMANA	-	-	3.7 (NS)	6.8 (*)
1 VEZ POR SEMANA	-	-	-	3.1 (NS)
1 VEZ CADA 2 SEMANAS	-	-	-	-

* = Significativo al 95%
 NS = No significativo
 gl = 60
 K = 6
 T crítica = 4.16
 α = 0.05

El mayor rendimiento de agar obtenido de *G. robustum*, 40.0% se extrajo de plantas fertilizadas una vez por semana, y el mínimo 31.4%, en las plantas fertilizadas 2 veces por semana (Tabla II). La humedad promedio para las plantas cultivadas bajo este experimento fué de 71.0%.

Tabla II. Rendimiento de agar obtenido de *G. robustum*, expresado en porciento de gel/g de planta en peso seco.

Frecuencia de fertilización.	% de rendimiento de agar
3 veces por semana	33 ± 2
2 veces por semana	31 ± 1
1 vez por semana	40 ± 6
1 vez cada 2 semanas	36 ± 4

± = E.E.
n = 4.

III) Efecto del movimiento de agua en el crecimiento de *G. robustum*. El movimiento incrementó el crecimiento de *G. robustum*. El máximo porcentaje de crecimiento se presentó en las plantas sueltas con movimiento y el mínimo, en las plantas sin movimiento (3.9%/día y -0.16%/día) (Fig. 7 c, d). No se observaron diferencias significativas de crecimiento entre las plantas fijas y sueltas bajo el efecto del movimiento (Tabla III). La humedad promedio de las plantas cultivadas bajo éste experimento fué de 65%.

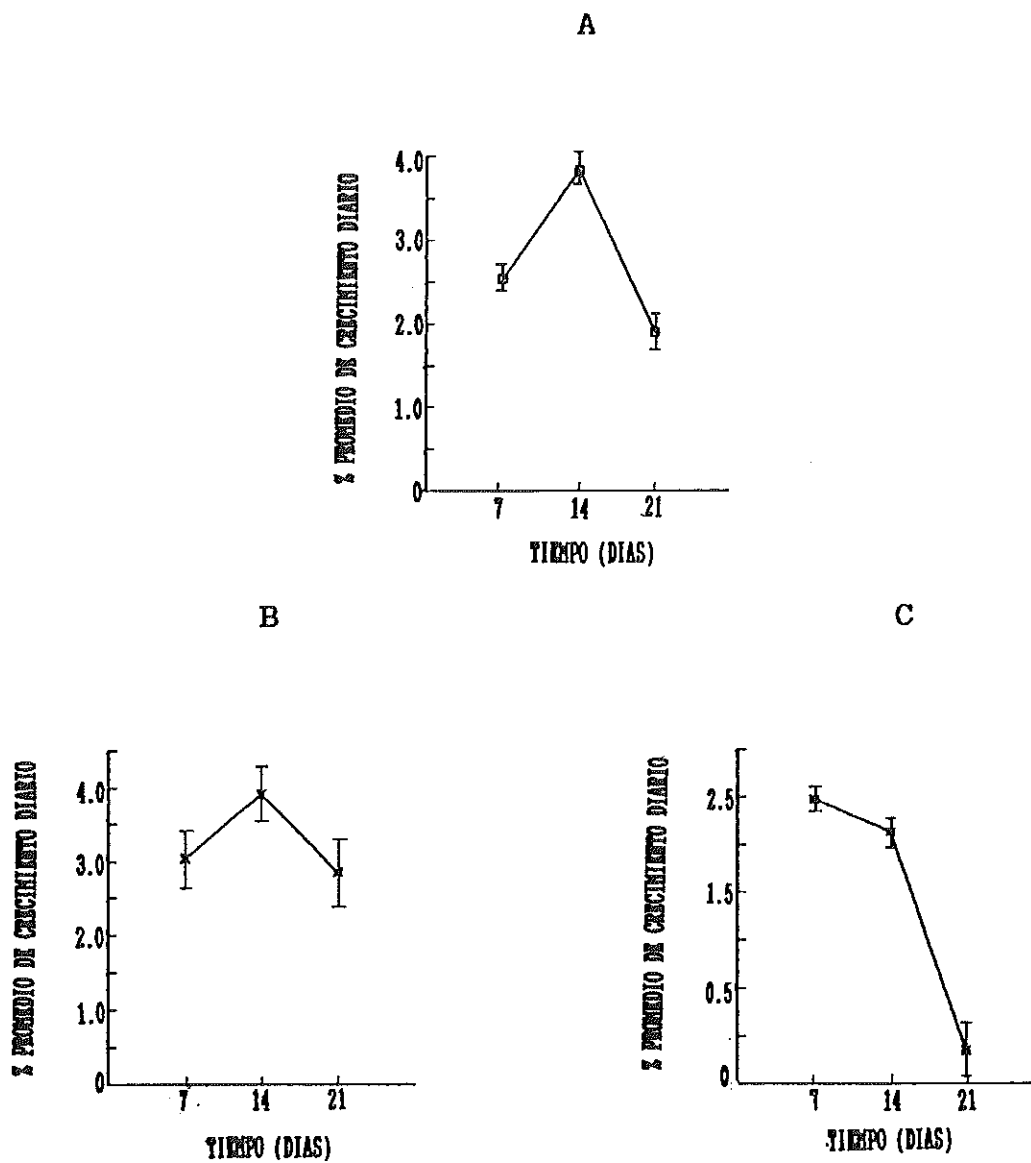


Figura 7.- Crecimiento en peso húmedo de *G. robustum* bajo diferentes condiciones de movimiento (A, plantas fijas con movimiento, B, sueltas con movimiento y C, plantas sin movimiento), de Mayo 9 al 30 de 1989. I = E.E. n = 20

Tabla III. Comparaciones múltiples del crecimiento promedio de *G. robustum* bajo diferentes condiciones de movimiento, aplicando la prueba de Tukey-Kramer.

TRATAMIENTOS	PLANTAS SUJETAS CON MOVIMIENTO (80l/min.)	PLANTAS SUELTAS CON MOVIMIENTO (80l/min.)	PLANTAS SIN MOVIMIENTO
PLANTAS SUJETAS CON MOVIMIENTO (80l/min.)	-	2.4 (NS)	5.1 (*)
PLANTAS SUELTAS CON MOVIMIENTO (80l/min.)	-	-	7.6 (*)
PLANTAS SIN MOVIMIENTO	-	-	-

* = Significativo al 95%
 NS = No significativo
 gl = 150
 K = 3
 T crítica = 3.314
 α = 0.05

El movimiento incrementó el crecimiento de *G. robustum*, el máximo porcentaje de crecimiento (1.2%/día) se presentó en plantas bajo la intensidad de movimiento de 50 l/min (Fig. 8 b). Las plantas bajo la intensidad de 80 l/min. (Fig. 8 a) presentaron un porcentaje de crecimiento más homogéneos con crecimientos de 0.90%/día. Se observaron diferencias significativas de crecimiento entre las plantas tratadas con 80 l/min. y el control (Tabla IV). La humedad promedio para las plantas cultivadas bajo este experimento fué de 69%.

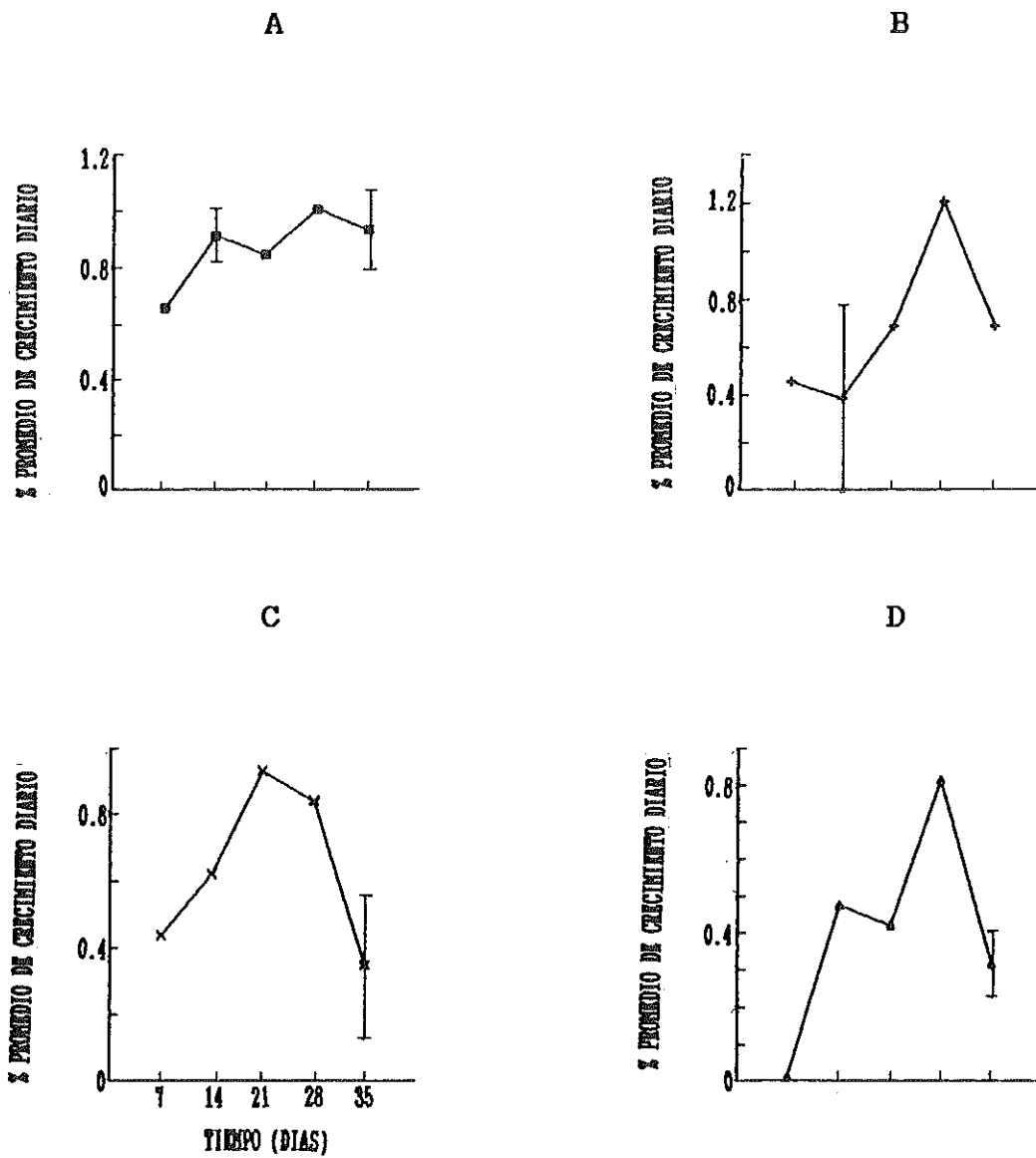


Figura 8.- Crecimiento en peso húmedo de *G. robustum*, bajo diferentes intensidades de movimiento (A, 80 l/min., B, 50 l/min., C, 20 l/min. y D, sin movimiento), de Marzo 13 al 17 de Abril de 1989. I = E.E. n = 2

Tabla IV. Comparaciones múltiples del crecimiento promedio de *G. robustum* bajo diferentes intensidades de movimiento aplicando la prueba de Tukey-Kramer.

FLUJO DE AIRE EN TANQUES	80 litros por minuto.	50 litros por minuto.	20 litros por minuto.	Sin flujo de aire
80 litros por minuto.	-	1.8 (NS)	2.2 (NS)	4.4 (*)
50 litros por minuto.	-	-	0.5 (NS)	2.7 (NS)
20 litros por minuto.	-	-	-	2.2 (NS)
Sin flujo de aire	-	-	-	-

* = Significativo al 95%
 NS = No significativo
 gl = 36
 K = 6
 T crítica = 4.23
 α = 0.05

IV) Adición de CO₂. La adición de CO₂ como complemento de la fertilización no mostró diferencias significativas de crecimiento entre plantas con adición de CO₂ y sin adición. Se observaron crecimientos iguales (3.0%/día) para plantas fertilizadas con CO₂ (Fig. 9), y el control presentó el más bajo crecimiento (2.6%/día). Los errores estándar se mantuvieron en un intervalo de 0.04 a 0.08 (n = 30).

V) Epífitas. Para todos los experimentos la eliminación de epífitas mediante cepilladas periódicas resultó insuficiente. El error por epífitas fué del 5%. Las epífitas dominantes en todos los cultivos de los experimentos anteriores fueron, *Enteromorpha* sp., *Ulva* sp. y *Ectocarpus* sp.

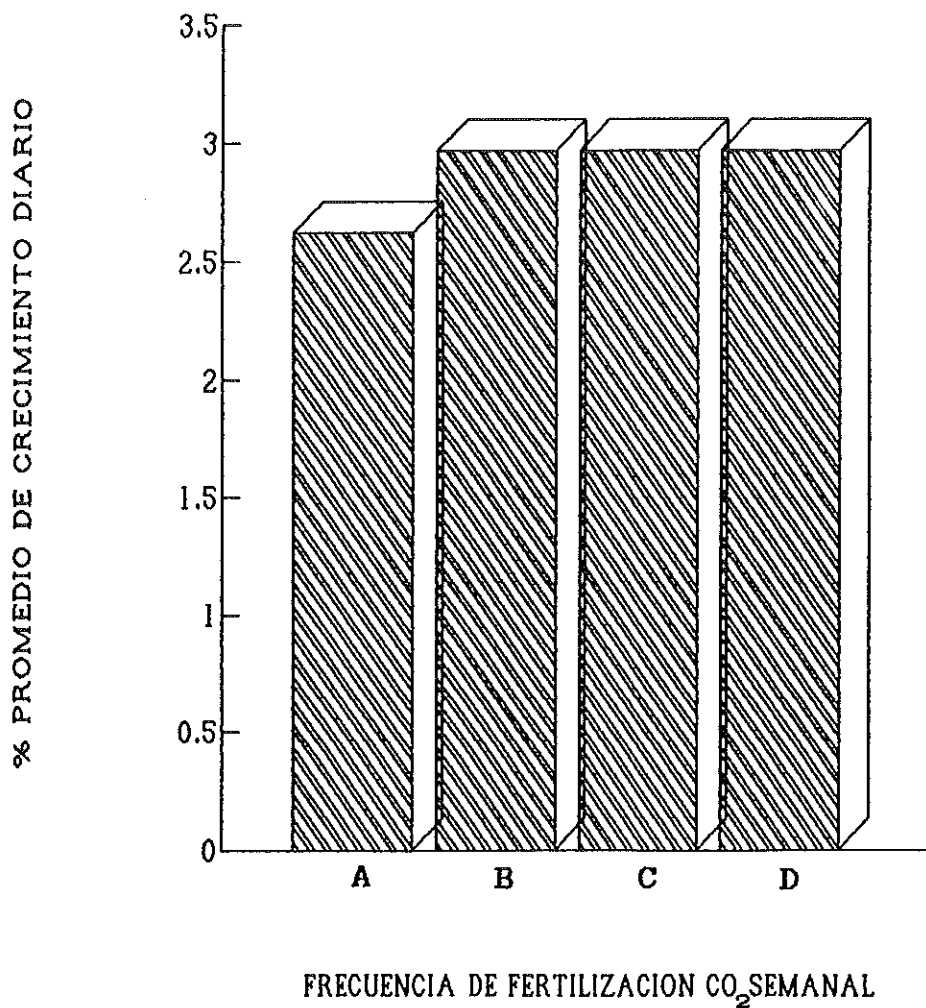


Figura 9.- Crecimiento en peso húmedo de *G. robustum* bajo diferentes períodos de fertilización con CO₂, (A, sin fertilizar, B, 1 vez/semana, C, 3 veces/semana y D 7 veces/semana) de Junio 30 al 7 de Agosto de 1989. n = 30

5 DISCUSIONES:

La mayor parte de la asimilación de nutrimentos por *G. robustum* se dió en los primeros 15 minutos. Esto indicó que las plantas asimilaron de una manera casi inmediata los nutrimentos adicionados, posteriormente la concentración en el medio de cultivo se mantuvo aproximadamente constante con algunos reflujos de nutrimentos al medio por las plantas, esto se detectó cuando la concentración aumentó ligeramente (Fig. 3). Este comportamiento es muy similar al reportado por Lobban, *et al* (1985), donde encontraron que a tiempos menores de 10 a 15 minutos se estima la mayor parte de la razón de asimilación de nutrimentos. Otro de los factores que influyó para que las plantas asimilarán a esta velocidad fué la utilización de tejido joven, el cuál es metabólicamente más activo y requiere más cantidades de nitrógeno para su desarrollo (Lobban, *et al*, 1985).

Dentro de los factores físicos que afectan la asimilación de los nutrimentos, la luz y la temperatura juegan un papel muy importante ya que pueden acelerarla ó retrasarla (Lobban, *et al*, 1985). La luz y la temperatura durante el experimento se incrementaron lentamente lo cual favoreció la asimilación (Fig. 4 y 5) . Este comportamiento ha sido reportado por Yamada (1964), para *G. amansii*, el encontró que al incrementarse la intensidad de luz se absorven considerables cantidades de nitrógeno. Por otro lado, el preacondicionamiento de las plantas y el movimiento de agua en tanques también influyeron para una buena asimilación de nutrimentos (Lobban, *et al*, 1985).

G. robustum presentó los mejores crecimientos durante las fertilizaciones de tres y dos veces por semana. En estas frecuencias de fertilización las plantas se mantuvieron más robustas y resistentes (Fig.6 a, b). Lapointe (1985), encontró en *Gracilaria tikvaiae*, un aumento en las razones de crecimiento cuando se incrementan las frecuencias de fertilización. Harger, et al (1982), encontraron que el bajo crecimiento de *G. robustum* se ha incrementado en cultivos mediante fertilizaciones. Los cultivos que fueron fertilizados bajo menor frecuencia (una vez por semana y una vez cada dos semanas) mostraron los más bajos crecimientos y presentaron pérdida de pigmentación y fragmentación (Fig. 6 c, d).

En este trabajo el rendimiento del agar fué mejor para las plantas fertilizadas con menor frecuencia respecto a las fertilizadas con mayor frecuencia. Los máximos rendimientos reportados en California para *G. robustum* son de 23%-32% (Cooper y Johnstones, 1944., Silverthorne, 1977., Rodriguez-Carrillo, 1987). El máximo rendimiento obtenido para éste experimento fué de 40.0% para plantas fertilizadas una vez por semana superando los citados anteriormente, además la cantidad de agar de las plantas cultivadas siempre estuvo por encima de el 31.0% (Tabla IV). Se encontró que los máximos rendimientos se obtuvieron de plantas con una menor frecuencia de fertilización.

Esto ha sido también observado para otras agarofitas como *Gracilaria foliifera* (DeBoer, 1977), *G. coulteri* y *G. purpurascens* (Bruce, 1983) así como también para carragenofitas (Neish, *et al*, 1977., González-Gómez, 1988).

Con ésto se afirma que entre menos frecuente sea la fertilización, el rendimiento de agar se incrementa, lo que sucede de manera inversa al crecimiento ya que este disminuyó cuando la frecuencia de fertilización se limita.

Raven (1974), menciona que una posible respuesta a este comportamiento de las plantas y de la relación inversa que existe entre el crecimiento y producción de agar, se puede deber a que cuando existe un medio rico en nutrientes el carbón producido en la fotosíntesis, que entra al ciclo de Krebs sea destinado en su mayor parte hacia la síntesis de compuestos precursores de aminoácidos (proteínas) y una menor parte destinada a la síntesis de carbohidratos.

En términos prácticos, no interesa tanto obtener un máximo rendimiento de agar y disminuir el crecimiento de las plantas. Se considera más importante enfocar nuestra atención en aumentar la producción de biomasa ya que de esta manera tendremos al final una mayor producción de agar. Por esta razón se sugiere fertilizar los cultivos de *G. robustum* bajo el período de fertilización de tres veces por semana.

Las plantas cultivadas con movimiento presentaron los máximos crecimientos, se mantuvieron más robustas y más resistentes que las plantas sin el efecto de este factor (Fig. 7 a, b y 8 a, b, c). Coincidiendo así con Avendaño-Herrera (1988), el movimiento de agua ejerce influencia sobre el crecimiento de *G. robustum* incrementando su biomasa, así pues, el movimiento provoca efectos en la fotosíntesis y respiración de las plantas presentando metabolismos más acelerados (Westlake, 1967), y mejora la difusión e incorporación de nitrógeno (Parker, 1981).

Las plantas cultivadas sin el efecto del movimiento se deterioraron presentando pérdida de pigmentación y fragmentación. Estas plantas se mantuvieron en superficie y al no existir una mezcla constante de agua en el cultivo, los nutrientes, gases y sustancias disueltas en el agua de mar, no se distribuyeron adecuadamente provocando que las plantas consumieran únicamente los nutrientes a su vecindad inmediata, como consecuencia existió una disminución en el crecimiento de las plantas cultivadas (Fig. 7 c y 8 d).

Lobban, *et al*, (1985), menciona que la razón de asimilación de nutrientes por las plantas es influenciada por el aporte de nutrientes al medio, el cual depende de en que concentración se encuentren en el agua de mar y del efecto del movimiento. También menciona que el coeficiente de difusión molecular en los líquidos es muy bajo y debido a esto, las plantas en aguas quietas sólo

consumen los nutrimentos de su alrededor, en contraste con las plantas que se mantienen bajo un movimiento de agua continuo tienen un suplemento constante de nutrimentos.

Las diferencias más significativas encontradas para el experimento de movimiento con biomasa, se dieron entre el tratamiento de (80 l/min.) y el control por lo que se asume que únicamente la intensidad de movimiento de 80 l/min. influenció el crecimiento de *G. robustum* incrementándolo (Tabla IV).

La adición de CO₂ como complemento de la fertilización en cultivos de *G. robustum* no demostró diferencias significativas sobre el crecimiento.

Se asume que el flujo continuo de agua en los tanques aportó el CO₂ necesario para *G. robustum*. Como recomendaciones se propone que la adición de CO₂ sea semanalmente para incrementar ligeramente el crecimiento ya que puede aumentar la razón de asimilación de CO₂ (Parker, 1981)

La humedad en los experimentos se mantuvo en un intervalo de 65% a 71% considerándose como una buena humedad ya que el peso de las plantas fué más en tejido que en porcentaje de agua, el porcentaje de humedad reportado para *G. robustum* en el campo por Avendaño-Herrera, (1988) fué arriba de 71%.

6 CONCLUSIONES:

- I) El tiempo óptimo para la asimilación de nutrimentos en *G. robustum* es en los primeros 15 minutos.
- II) El período óptimo de fertilización en *G. robustum* es de tres veces por semana.
- III) La intensidad de movimiento bajo la cual *G. robustum* se mantiene creciendo más vigorosamente es de 80 l/min.
- IV) La adición de CO₂ como complemento de la fertilización no influyó de una manera significativa en el crecimiento de *G. robustum*.

7 LITERATURA CITADA

- Avendaño-Herrera, E. 1988. Efecto del movimiento de agua sobre el crecimiento *G. robustum* Gardn. Hollenb & Abb. (Rhodophyta, Gelidiaceae). Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C. Ensenada B. C. pp. 38
- Barilotti, C. D. 1980. Genetics considerations and experimental design or outplanting studies. Pacific Seaweed Aquaculture. pp. 10-18.
- Bidwell, R. G. S. y J. McLachlan and N. D. H. Lloyd. 1985. Tank cultivation of Irish Moss, *Chondrus crispus* Stackh. Bot. Mar. 28 (3): 87-97.
- Brinkhuis, B. H. 1980. Growth patterns and rates. En: Handbook of Phycological Methods. Eds. Littler, M. M. y D. S. Littler. Cambridge Univ. Press. pp. 461-477.
- Bruce, A. Macler. 1983. Physiology of agar production in *Gelidium*. J. Phycol. 19:6 (Resumen).
- Charters, A. C., M. Neushul, y C. Barilotti. 1969. The functional morphology of *Eisenia arborea*. Proc. Intl. Seaweed Symp. 6: 89-105.
- Charters, A. C., M. Neushul, y D. Coon. 1973. The effect of water motion on algal spore adhesion. Limnol. Oceanogr. 18: 884-896.
- Cooper, N. C. y G. R. Johnstones. 1944. The seasonal production of agar in *Gelidium cartilagineum* a perenial red algae. Amer. J. Bot. 31: 638-640.

- Craige, J. S. y C. Leigh. 1978. Carrageenans and agars. En: Handbook of Phycological Methods. Eds. Hellebust J. A. and J. C. Craigie. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 109-131.
- DeBoer, J. 1977. Effects of nitrogen enrichment on growth rate and phycocolloid content in *Gracilaria foliifera* and *Neogardiera baileyi* (Florideophyceae). Proc. Int. Seaweed Symp. 9: 263-271.
- DeBoer, J. 1985. Nutrients. En: The biology of seaweeds. Eds. Lobban C. S. y M. J. Wynne. Univ. of California, Press Berkeley. pp. 356-392.
- D'Elia, C. F. y J. A. DeBoer. 1978. Nutritional studies of two red algae. II. Kinetics of ammonium and nitrate uptake. J. Phycol. 14: 266-272
- Dromgoole, F. I. 1978. The effects of oxygen on dark respiration and apparent photosynthesis in marine macro-algae. Aquat. Bot., 4: 281-297.
- Gerard V. A. y K. H. Mann. 1979. Growth and production of *Laminaria longicruris* (Phaeophyta) populations exposed to different intensities of water movement. J. Phycol. 15: 33-41.
- González-Gómez, M. A. 1988. Efecto de los nitratos en crecimiento y producción de carragenano en *Gigartina cananiculata* Harv. en tanques de cultivo. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C., Ensenada B. C. pp. 35.

- Guzmán del Proó, S. A. y S. de la Campa de Guzmán. 1978. *Gelidium robustum* (Florideophyceae) and agarophyte of Baja California, Mexico. Proc. Int. Seaweed Symp. 9: 303-308.
- Harger, B. W. y M. Neushul. 1982. Macroalgal mariculture Biosaline research: A look to the future. Eds. by Anthony San Pietro. pp. 393-404.
- Hoyle, M. D. 1978. Reproductive Phenology and Growth Rates in two species of *Gracilaria sp.* from Hawaii. J. Mar. Biol. Ecol., 35: 273-283.
- Jolliffe, E. A. y E. B. Tregunna. 1970. Studies on HCO₃ ion uptake during photosynthesis in benthic marine algae. Phycologia, 9: 293-303.
- Koehl, M. A. R. y S. A. Wainright. 1977. Mechanical adaptations of giant kelp. Limnol. Oceanogr. 22: 1067-1071.
- La Pointe, B. E. 1985. Strategics for pulsed nutrient supply to *Gracilaria* cultures in the Florida Keys: interaccions between concentration and frecuency of nutrient pulses. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 93: 211-222.
- Lobban, S. P. Harrison y M. Duncan. 1985. Nutrients In: The Phisiological ecology of Seaweed. Ch. 6. Cambrigde Univ. Press. U.S.A. New York. pp. 75-110.
- Neish, A. C., P. F. Shacklock, C. H. Fox, y F. J. Simpson. 1977. The cultivation of *Chondrus crispus*. Factors affecing growth under greenhouse conditions. Can. J. Bot. 55: 2263-2271.

- Raven, J. A. 1974. Carbon dioxide fixation. En; Algal Physiology of Biochemistry. ed. W. D. P. Stewart. Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp. 434-455.
- Rodríguez-Carrillo, M. I. 1987. Efecto de la concentración y fuente de nitrógeno en el crecimiento de *G. robustum* (Gardn.) Hollenb. and Abb. (Rhodophyta, Gelidiales) en cultivo. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas U.A.B.C., Ensenada B. C. pp. 36.
- Parker, H. S. 1981. Influence of relative water motion on the growth, ammonium uptake and carbon and nitrogen composition of *Ulva lactuca* (Chlorophyta) Mar. Biol. 63: 309-318.
- Silverthorne, W. 1977. Optimal production from seaweed resource. Bot. Mar. 20: 75-98.
- Strickland, J. D .H. y T. R. S. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Can. Bull. pp. 167. 310.
- Stewart, J. G. 1984. Vegetative growth rate of *Pterocladia capillacea* (Gelidiaceae, Rhodophyta). Bot. Mar. 27(2): 85-94.
- Sokal, R. y F. J. Rohlf. 1981. Biometry. 2nd Edn., W. H. Frelman and Co., San Francisco. pp. 859.
- Tseng, C. K. and B. M. Sweeney. 1946. Physiological studies of *G. cartilaginum*. Photosynthesis, with special reference to the carbon dioxide. Am. J. Bot. 33: 706-715.
- Westlake, D. F. 1967. Some effects of low velocity currents on the metabolism of aquatic macrophytes. J. Exp. Bot. 18 (5): 187-205.

Wheeler, W. N. 1980. Effect of boundry layer transport on the fixation of carbon by the giant kelp *Macrocystis pyrifera*. Mar. Biol. 56: 103-110.

Yamada, N. 1964. Studies on the manure for seaweeds IV. On the manuring for yellowed *Gelidium* Bed. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 30: 986-990.