

EFFECTO DEL MOVIMIENTO DEL AGUA SOBRE EL CRECIMIENTO DE *Gelidium robustum* (GARDN.) HOLLENB. Y ABB. (RHODOPHYTA)

EFFECT OF WATER MOVEMENT ON THE GROWTH OF *Gelidium robustum* (GARDN.) HOLLENB. AND ABB. (RHODOPHYTA)

Isaí Pacheco-Ruíz
José A. Zertuche-González

Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado postal 453, Ensenada
Baja California
México

Recibido en noviembre de 1994; aceptado en enero de 1995

RESUMEN

El crecimiento de *Gelidium robustum* (Gardn.) Hollenb. y Abb. se midió *in situ* y en tanques de cultivo, bajo diferentes intensidades de velocidad de corriente y agitación. Se probó la hipótesis de que el crecimiento de *G. robustum* se incrementa por el efecto del movimiento del agua sobre la planta. Se demostró *in situ* que en las zonas con mayor movimiento de agua ($> 1.4 \text{ m s}^{-1}$), se estimuló el crecimiento de *G. robustum* ($> 1.0\% \text{ día}^{-1}$, peso húmedo). En condiciones semicontroladas de cultivo el crecimiento fue directamente proporcional al aumento del movimiento del agua. El tratamiento con mayor dinámica mostró un crecimiento de $3.6\% \text{ día}^{-1}$. El crecimiento máximo reportado en este trabajo para *G. robustum* es mayor que el máximo registrado anteriormente para esta especie ($2.3 \text{ versus } 3.6\% \text{ día}^{-1}$, peso húmedo).

Palabras clave: Rhodophyta, agarofita, *Gelidium robustum*, movimiento, crecimiento.

ABSTRACT

The growth of *Gelidium robustum* (Gardn.) Hollenb. and Abb. was measured *in situ* and in cultivation tanks under different current and agitation velocities. The hypothesis that growth of *G. robustum* increases from the effect of water movement over the plant was tested. It was demonstrated *in situ* that zones with greater water movement ($> 1.4 \text{ m s}^{-1}$) stimulated the growth of *G. robustum* ($> 1.0\% \text{ day}^{-1}$, wet weight). Growth was directly proportional to water movement under semicontrolled cultivation conditions. The treatment with the greatest dynamics demonstrated a growth of $3.6\% \text{ day}^{-1}$. The maximum growth reported in this study for *G. robustum* is greater than the previously registered maximum for this species ($2.3 \text{ versus } 3.6\% \text{ day}^{-1}$, wet weight).

Key words: Rhodophyta, agarophyte, *Gelidium robustum*, movement, growth.

INTRODUCCIÓN

Gelidium robustum (Gardn.) Hollenb. y Abb., 1965, especie explotada comercialmente en Baja California como materia prima para la producción de agar, ha sido considerada, al

INTRODUCTION

Gelidium robustum (Gardn.) Hollenb. and Abb., 1965, a species commercially exploited in Baja California as raw material for agar production, has been considered to grow relatively

igual que otras gelidiales, como de crecimiento relativamente lento (Stewart, 1984). Se han registrado velocidades de 0.63 mm día^{-1} en verano y mínimos de $-0.63 \text{ mm día}^{-1}$ en otoño (Guzmán del Prío y de la Campa de Guzmán, 1978). Los valores reportados para la misma especie en California (Barilotti and Silverthorne, 1972) son relativamente menores (0.34 versus 0.63 mm día^{-1}). También se registraron crecimientos bajos para *G. nudifrons* Gardn. (0.08 y 0.13 mm día^{-1}) en pruebas de laboratorio (Stewart, 1984) y para *G. pristoides* (Tur.) Kut., en experimentos *in situ* (0.42 mm día^{-1}) (Carter and Anderson, 1986).

Se ha sugerido que el crecimiento bajo es una característica inherente a la familia Gelidiaceae (Stewart, 1968). Sin embargo, algunos autores mencionan que el bajo crecimiento de estas especies podría incrementarse controlando algunos factores físicos (Santelices, 1991; Hansen *et al.*, 1981; Hanisak y Ryther, 1984). Westlake (1967) y Santelices (1991) han considerado la posibilidad de que algunas gelidiales requieran movimiento para estimular su crecimiento. Santelices (1978) afirma que la influencia del movimiento del agua sobre el crecimiento de algunas agarofitas en Hawai es significativa; sin embargo, menciona que el crecimiento permanece igual, o disminuye, si el movimiento del agua está por debajo o por encima de los límites de los requerimientos de difusión de nutrientes y gases, y la resistencia mecánica de la planta. Anderson y Charters (1982) demostraron con pruebas de laboratorio que los flujos laminares que se impactan sobre *G. nudifrons* se transforman en flujos turbulentos, como resultado de la morfología de la planta. Esto trae como consecuencia tensión sobre su superficie, incremento en la captación de nutrientes, gases y otras sustancias, y un incremento en la velocidad de crecimiento.

En los ambientes típicos donde *G. robustum* habita, la presencia de flujos laminares es poco frecuente, por lo que una diferencia entre los flujos laminar y turbulento entre hábitats no sería suficiente para inferir el efecto del movimiento en el crecimiento *in situ* de esta especie.

Para este estudio, se encontraron dos sitios con presencia de *G. robustum* y características ambientales iguales excepto por la dinámica del

slow, like other gelidiales (Stewart, 1984). Velocities of 0.63 mm day^{-1} have been recorded in summer and minimums of $-0.63 \text{ mm day}^{-1}$ in fall (Guzmán del Prío and de la Campa de Guzmán, 1978). The values reported in California for this species (Barilotti and Silverthorne, 1972) are relatively less (0.34 versus 0.63 mm day^{-1}). Low growths have also been reported for *G. nudifrons* Gardn. (0.08 and 0.13 mm day^{-1}) in laboratory tests (Stewart, 1984), and for *G. pristoides* (Tur.) Kut. in experiments *in situ* (0.42 mm day^{-1}) (Carter and Anderson, 1986).

It has been suggested that low growth is an inherent characteristic of the Gelidiaceae family (Stewart, 1968). However, some authors mention that the low growth of this species could be increased by controlling some physical factors (Santelices, 1991; Hansen *et al.*, 1981; Hanisak and Ryther, 1984). Westlake (1967) and Santelices (1991) have considered the possibility that some gelidiales require movement to stimulate their growth. Santelices (1978) affirms that the influence of water movement on the growth of some agarophytes in Hawaii is significant; however, he mentions that growth remains the same or decreases if the water movement is above or below the limits of required nutrient and gas diffusion and the mechanical resistance of the plant. Anderson and Charters (1982) demonstrated in laboratory tests that the laminar flows that impact *G. nudifrons* are transformed into turbulent flows as a result of the morphology of the plant. This results in an increase in its surface tension, intake of nutrients, gases and other substances and in growth velocity.

In environments where *G. robustum* typically inhabits, the presence of laminar flows is infrequent, for which the difference between laminar and turbulent flows would not be sufficient for inferring the effect of movement on the *in situ* growth of this species.

Two locations that present *G. robustum* and similar environmental characteristics except for water dynamics were found for this study. There, the effect of water movement on the growth of *G. robustum* was evaluated *in situ*.

Simultaneous tests were also made under semicontrolled laboratory conditions for the same purpose.

agua, donde se evaluó *in situ* el efecto del movimiento del agua en el crecimiento de *G. robustum*.

Con el mismo propósito, se hicieron simultáneamente pruebas en un sistema semicontrolado en laboratorio.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio y de recolección se localiza al noroeste de la bahía de Todos Santos, 100 Km al sur de la frontera México-Estados Unidos, en la costa occidental de la península de Baja California, México (fig. 1). Una parte de este trabajo de investigación se realizó en el lugar conocido como El Carioca, 50 m mar adentro, a una profundidad entre 4 y 6 m. El fondo de esta zona del infralitoral es de roca y arena. Es una costa expuesta, donde el oleaje dominante puede incidir con gran fuerza (*Meteorology International*, 1977).

La otra parte de los experimentos se llevó a cabo en las instalaciones de cultivo del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, de la Universidad Autónoma de Baja California.

MATERIALES Y MÉTODOS

En El Carioca se localizó un manto de *G. robustum* libre de explotación comercial. El trabajo de campo se realizó mediante buceo autónomo. Dentro del manto se ubicaron dos estaciones, la primera expuesta a la acción directa del oleaje y la segunda protegida del mismo. Ambas estaciones tuvieron prácticamente iguales condiciones de luz, temperatura, profundidad y nutrientes, y la única variante significativa fue el movimiento del agua (aproximadamente 2:1).

En diferentes partes del manto de *G. robustum*, se recolectaron 30 plantas de similar longitud (recolección aleatoria), que fueron transportadas en hieleras al laboratorio, donde se limpiaron de epifitas. Se tomó su peso húmedo individual con una balanza analítica (± 0.1 mg) y se colocaron individualmente dentro de bolsas de malla de plástico (de aproximadamente 35 cm de longitud y luz de malla de 1 cm) numeradas con una cinta de plástico (dymo) y alambre de cobre revestido de

STUDY AREA

The study and collection site is located to the northeast of Bahía de Todos Santos, 100 km south of the Mexico-United States border on the west coast of the Baja California Peninsula, Mexico (fig. 1). One part of this research project was conducted in a place known as El Carioca, 50 m seaward at a depth between 4 and 6 m. The bottom in this infralittoral zone is made up of rocks and sand. It is an exposed coast where the dominant surf can strike with great strength (*Meteorology International*, 1977).

The other part of the experiments were conducted in the cultivation installations at the *Instituto de Investigaciones Oceanológicas* at the *Universidad Autónoma de Baja California*.

MATERIALS AND METHODS

A bed of *G. robustum*, free of commercial exploitation, was located in El Carioca. The field work was conducted with scuba diving. Two stations were located within the bed, the first one exposed to direct surf action and the second protected from it. Both stations had practically the same light, temperature, depth and nutrient conditions. The only significant variable was the water movement (approximately 2:1).

Thirty plants with similar lengths were collected from different parts of the *G. robustum* bed (aleatory collection), transported in ice chests to the laboratory and cleaned of epiphytes. The individual wet weight was measured with an analytical scale (± 0.1 mg). The plants were individually placed in plastic mesh bags (approximately 35 cm long with a mesh size of 1 cm) and numbered with plastic tape (dymo) and plastic covered wire. Fifteen bags, each one with a plant, were placed in both of the study areas (protected and exposed). The bags were tied to a steel rod that was placed on the rocky substrate in the natural bed. They were collected every six to eight weeks, transported to the laboratory and weighed. They were replaced with new plants taken from the natural bed after having been weighed. This procedure was conducted in one day.

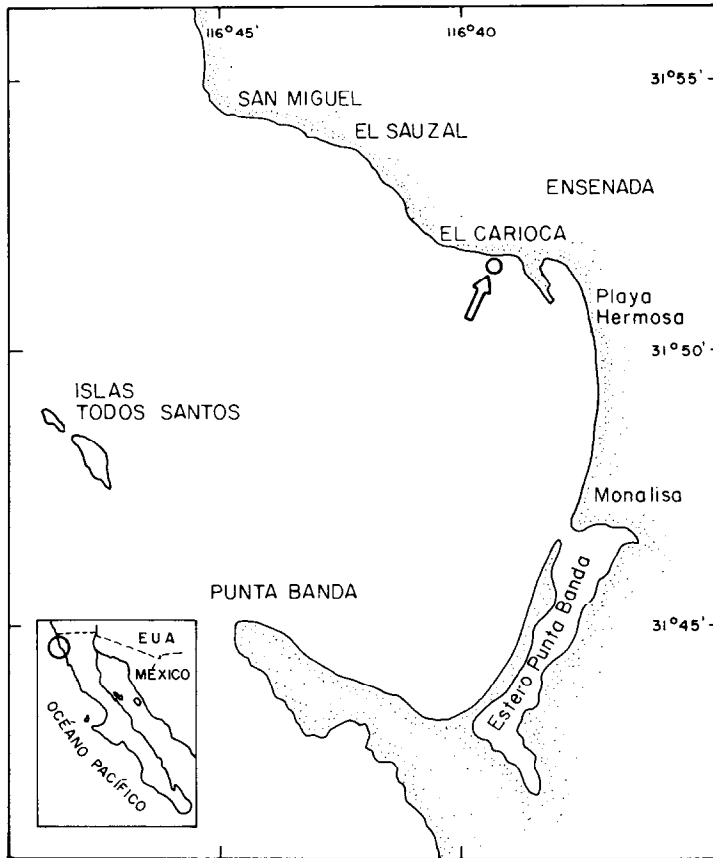


Figura 1. Localización del área de estudio en la bahía de Todos Santos.
Figure 1. Location of the study area in Bahía de Todos Santos.

plástico. Se colocaron 15 bolsas, cada una con una planta en su interior, en cada una de las zonas de estudio (protegida y expuesta). Las bolsas se sujetaron a una barra de acero, que se colocó sobre el sustrato rocoso, en el manto natural. Se recolectaron aproximadamente cada seis u ocho semanas. Se trasladaron al laboratorio, donde se pesaron, y se reemplazaron por plantas nuevas recolectadas del manto natural, previamente pesadas. Todo este procedimiento se realizó en un día.

El porcentaje de crecimiento diario se calculó en términos de peso total, con la expresión de Brinkhuis (1985):

The daily growth ratio was calculated in terms of total weight using Brinkhuis' expression (1985):

$$GR = \left(\frac{\ln W_t - \ln W_0}{T_t - T_0} \right) \cdot 100$$

where *GR* is the specific growth ratio; *W₀*, initial weight; *W_t*, weight at time *t* and *T_t - T₀*, number of days.

Global growth values from the area were subjected to Kolmogorov-Smirnov's tests for goodness of fit and Bartlett's test of homogeneity of variance (Sokal and Rohlf, 1981). An

$$GR = \left(\frac{\ln W_t - \ln W_o}{T_t - T_o} \right) \cdot 100$$

donde *GR* es la razón específica de crecimiento; *W_o*, peso inicial; *W_t*, peso a un tiempo *t*, y *T_t - T_o*, número de días.

Los valores de crecimiento globales para el área se sometieron a pruebas Kolmogorov-Smirnov de bondad de ajuste a la distribución normal, así como a la prueba de Bartlett, de homogeneidad de varianzas (Sokal y Rohlf, 1981). Se realizó un análisis de varianza (ANVA) (Sokal y Rohlf, 1981) para comparar el crecimiento entre ambas zonas, utilizando un nivel de significación de 1%.

Todas las pruebas y análisis se realizaron con el programa de estadística Biometry (Sokal y Rohlf, 1981), en computadora. El porcentaje de humedad de *G. robustum* a lo largo del año se calculó a partir de 60 plantas recolectadas del manto natural, en mayo, julio, agosto y octubre de 1987. En el laboratorio se limpiaron de epifitas y epifauna, y se secaron en una estufa a 60°C, hasta obtener peso constante (Brinkhuis, 1985).

La velocidad de las corrientes se midió en cada muestreo siguiendo la técnica de Vennard, 1961 (Barilotti, 1980), utilizando un flujómetro de mano, compuesto de una barra de acero, un transportador y una cuerda amarrada al centro de éste, con un flotador redondo en su extremo. El flujómetro fue colocado en el fondo arenoso de cada una de las estaciones de muestreo y las oscilaciones del flotador (ángulo) se midieron a intervalos de cinco a diez minutos.

La velocidad de la corriente se obtuvo con la fórmula

$$V = 2.8 (\tan \emptyset)$$

donde *V* es la velocidad de la corriente (m s⁻¹) y Tan \emptyset la tangente del ángulo.

Para verificar que las dos zonas de muestreo (expuesta y protegida) se encontraban sujetas a diferentes velocidades de corriente, los resultados se sometieron a una prueba de bondad de ajuste y un ANVA, utilizando un nivel de significación de 1%.

analysis of variance (ANOVA) (Sokal and Rohlf, 1981) was conducted to compare growth between both zones using a significance level of 1%.

All of the tests and analysis were conducted with the statistical computer program Biometry (Sokal and Rohlf, 1981). The annual water content of *G. robustum* was calculated from 60 plants collected from the natural bed in May, July, August and October 1987. They were cleaned of epiphytes and epifauna and were dried in an oven at 60°C until obtaining constant weight (Brinkhuis, 1985).

Current velocity was measured in each sampling following the technique of Vennard, 1961 (Barilotti, 1980) using a hand-held flowmeter made up of a steel rod, transporter and rope tied in the middle with a round buoy on the end. The flowmeter was placed on the sandy bottom in each of the sample stations, and the oscillations of the floater (angle) were measured at intervals of approximately five and ten minutes.

Current velocity was obtained with the formula

$$V = 2.8 (\tan \emptyset)$$

where *V* is the current velocity (m s⁻¹) and Tan \emptyset , the tangent of the angle.

In order to verify that the two sample sites (exposed and protected) were exposed to different current velocities, the results were subjected to a goodness of fit test and ANOVA using a 1% significance level.

An experiment was conducted to determine the effect of water agitation on the growth of *G. robustum* under semicontrolled conditions, where the plants were exposed to two different conditions in an open system of cultivation tanks as described by Zertuche-González (1987). In both conditions, the plants were subjected to an air flow of 80 l min⁻¹. In the first case, the plants were fixed in the tank by tying them with a nylon rope; in the second, they were left to circulate freely. The depth of the tank was 20 cm, and there were no significant differences in light between the surface and bottom. Twenty plants of *G. robustum* with similar lengths were placed in each tank after being labeled with plastic bands and weighed

Con el propósito de determinar el efecto de la agitación del agua sobre el crecimiento de *G. robustum* bajo condiciones semicontroladas, se realizó un experimento donde se expusieron las plantas a dos condiciones diferentes, en un sistema abierto de tanques de cultivo como los descritos por Zertuche-González *et al.* (1987). En ambas condiciones las plantas se sometieron a un flujo de aire de 80 l min⁻¹. En el primer caso, se mantuvieron fijas en el tanque sujetándolas a una cuerda de nylon; en el segundo, se dejaron circular libremente en el tanque. La profundidad del tanque fue de 20 cm, y no hubo diferencias significativas de luz entre la superficie y fondo. En cada tanque se colocaron 20 plantas de *G. robustum*, de longitud similar, previamente etiquetadas con cintas plásticas y pesadas en una balanza analítica. Todos los tanques tuvieron un flujo abierto de agua de mar de 500 ml min⁻¹. Las plantas se fertilizaron cada tres días, durante tres horas por la mañana, con 150 µM de NaNO₃ y 15 µM de NaH₂PO₄, para cada tanque. Se determinó la humedad de las plantas al final de cada experimento, siguiendo la metodología de Brinkhuis (1985). Se mantuvo 31% de luz incidente y la temperatura fue la ambiental. Este experimento tuvo una duración de 21 días.

Se realizó otro experimento utilizando diferentes intensidades de agitación en tanques (similares a los del experimento anterior) con plantas sueltas. Se utilizó una biomasa de 250 g de planta (peso húmedo) por tanque. Se provocaron cuatro intensidades diferentes de agitación del agua, inyectando desde el fondo del tanque flujos de aire de 0, 20, 50 y 80 l min⁻¹. El experimento se hizo por duplicado. El flujo de agua de mar en los tanques fue continuo (500 ml min⁻¹). Los cultivos se cosecharon semanalmente, y se dejó siempre la biomasa inicial (250 g). El error por epifitas fue de 0.5%. El tipo y concentración de fertilizante, humedad, luz y temperatura fueron iguales que en el experimento anterior. Este experimento tuvo una duración de 35 días.

RESULTADOS

El porcentaje de crecimiento diario en peso húmedo para la zona de mayor energía (ex-

with an analytical scale. All of the tanks had an open flow of sea water at 500 ml min⁻¹. The plants were fertilized every three days for three hours in the morning with 150 µM NaNO₃ and 15 µM NaH₂PO₄ for each tank. The water content of the plants was determined at the end of each experiment following the methodology of Brinkhuis (1985). Incidental light was kept at 31% and the temperature was ambient. This experiment lasted 21 days.

Another experiment was conducted using different intensities of agitation in tanks (similar to those in the last experiment) with loose plants. A biomass of 250 g of plant (wet weight) was used per tank. Four different agitation intensities were produced by injecting air flows of 0, 25, 50 and 80 l min⁻¹ from the bottom of the tank. The experiment was conducted in duplicate. The flow of sea water to the tanks was continuous (500 ml min⁻¹). The cultures were harvested weekly, and the initial biomass (250 g) was always left. The error from epiphytes was 0.5%. Type and concentration of fertilizer, humidity, light and temperature were the same as in the previous experiment. This experiment lasted 35 days.

RESULTS

The daily growth rate in wet weight in the zone with greatest energy (exposed) was always greater than 1%, with a maximum value of 1.5% day⁻¹ (July to August) and a minimum of 1% day⁻¹ (August to October). In the zone with least energy (protected), the maximum growth rate was 1.0% day⁻¹ (August to October) and a minimum of 0.5% day⁻¹ (July to August). There was a loss of plants in both zones due to the effect of currents. The statistical analysis of the growth data show that the intensity of the water movement brought about highly significant differences ($F_{\text{obs.}} = 73.71$; $F_{\text{crit.}} = 7.12$; $P \leq 0.01$) between the two study zones (table 1). The maximum *in situ* water content of *G. robustum* was 75%.

The greatest current velocity was present in both zones during May (1.5 m s⁻¹ in the exposed zone and 0.8 m s⁻¹ in the protected zone; fig. 2). The ANOVA resulted in highly significant differences ($F_{\text{obs.}} = 36.9$; $F_{\text{crit.}} = 6.81$; $P \leq$

Tabla 1. Crecimiento *in situ* de *Gelidium robustum*, expresado en porcentaje de crecimiento diario en peso húmedo.

Table 1. *In situ* growth of *Gelidium robustum* expressed in daily growth rates in wet weight.

Fecha	Zona	Días	Crecimiento
14 may 87/30 jun 87	expuesta	47	1.3 ± 0.3
	protegida	47	0.8 ± 0.2
1 jul 87/25 ago 87	expuesta	55	1.5 ± 0.2
	protegida	55	0.5 ± 0.09
25 ago 87/22 oct 87	expuesta	59	1.1 ± 0.2
	protegida	59	1.0 ± 0.2

± = error estándar

puesta) siempre fue superior a 1%, con un valor máximo de 1.5% día⁻¹ (julio a agosto) y mínimo de 1.0% día⁻¹ (agosto a octubre). En la zona de menor energía (protegida), el máximo porcentaje de crecimiento fue de 1.0% día⁻¹ (agosto a octubre) y el mínimo de 0.5% día⁻¹ (julio a agosto). En ambas zonas, hubo pérdida de plantas debido al efecto de las corrientes. El análisis estadístico de los datos de crecimiento muestra que la intensidad del movimiento del agua originó diferencias altamente significativas ($F_{obs.} = 73.71$; $F_{crit.} = 7.12$; $P \leq 0.0$) entre las dos zonas de estudio (tabla 1). La máxima humedad promedio *in situ* de *G. robustum* fue de 75%.

La mayor velocidad de corriente se presentó en ambas zonas durante mayo (1.5 m s⁻¹ en la zona expuesta y 0.8 m s⁻¹ en la zona protegida; fig. 2). El ANVA arrojó diferencias altamente significativas ($F_{obs.} = 36.9$; $F_{crit.} = 6.81$; $P \leq 0.01$) entre las zonas de alta y baja velocidad de corriente (expuesta y protegida).

En el experimento de crecimiento con plantas individuales bajo condiciones semicontroladas no se observaron diferencias significativas de crecimiento entre plantas fijas y sueltas ($\bar{X} = 2.7$ y $\bar{X} = 3.0$, respectivamente). El máximo crecimiento en plantas fijas fue de 3.5% día⁻¹ y el mínimo de 1.9% día⁻¹. El máximo crecimiento en plantas sueltas fue de 3.6% día⁻¹ y el mínimo de 2.6% día⁻¹ (fig. 3).

En los experimentos en tanques con 250 g de planta y diferentes intensidades de agitación, se presentó una relación directamente propor-

0.01), between the high and low current velocity zones (exposed and protected).

In the experiment on growth with individual plants under semicontrolled conditions, no significant differences were observed between the fixed and loose plants ($\bar{X} = 2.7$ and $\bar{X} = 3.0$, respectively). The maximum growth in the fixed plants was 3.5% day⁻¹ and the minimum was 1.9% day⁻¹. The maximum growth in the loose plants was 3.6% day⁻¹, and the minimum was 2.6% day⁻¹ (fig. 3).

In the tank experiments with 250 g of plant and different agitation intensities, a directly proportional relationship was found between growth and agitation. The maximum growth (0.73% day⁻¹) was detected at 80 l min⁻¹, and the minimum (0.34% day⁻¹) at 0 l min⁻¹ of air (fig. 4). The experiments with 50 and 80 l min⁻¹ were not significantly different ($F_{obs.} = 0.12$; $F_{crit.} = 4.20$; $P \leq 0.05$).

The average water content in the plants cultivated in these treatments was 69%. The maximum incidental light was 1,600 μE m⁻² s⁻¹, and the maximum and minimum ambient temperatures were 25.5 and 12°C, respectively.

DISCUSSION

The effect of water movement on the growth of *G. robustum* was observed *in situ* and semicontrolled conditions in the present study. The results show that growth was proportional to movement and was significantly

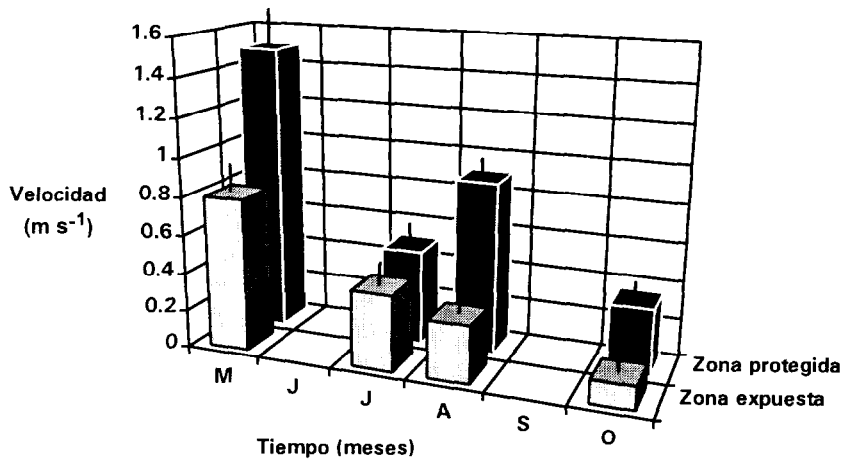


Figura 2. Velocidad de la corriente en la zona de estudio El Carioca ($n > 30$; $I =$ error estándar).
Figure 2. Current velocity in the study zone El Carioca ($n > 30$; $I =$ standard error).

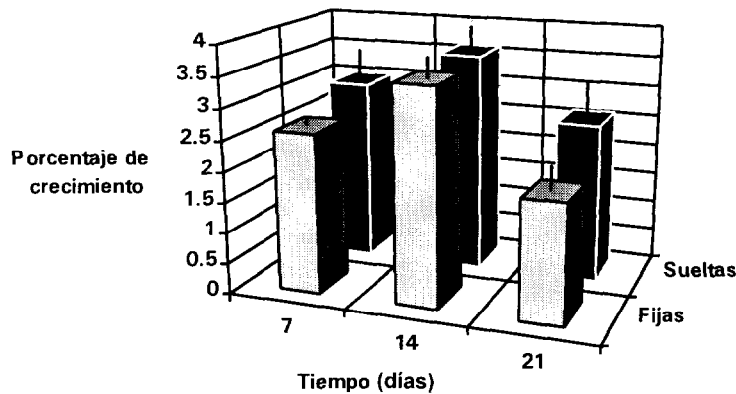


Figura 3. Crecimiento de plantas individuales de *Gelidium robustum* expuestas a tres condiciones diferentes ($n = 20$; $I =$ error estándar).
Figure 3. Growth of individual *Gelidium robustum* plants exposed to three different conditions ($n = 20$; $I =$ standard error).

cional entre el crecimiento y la agitación. El máximo crecimiento ($0.73\% \text{ día}^{-1}$) se detectó con 80 l min^{-1} y el mínimo ($0.34\% \text{ día}^{-1}$) con 0 l min^{-1} de aire (fig. 4). Los experimentos de 50 y 80 l min^{-1} , no fueron significativamente diferentes ($F_{\text{obs}} = 0.12$; $F_{\text{crit}} = 4.20$; $P \leq 0.05$).

La humedad promedio para las plantas que se cultivaron en estos tratamientos fue de 69% .

superior to that reported by other authors (Barilotti and Siverthorne, 1972; Guzmán del Prío and de la Campa de Guzmán, 1978; Harger and Neushul, 1982). Water movement as a growth stimulant has been demonstrated in the laboratory for some gelidiales. Santelices (1978) achieved an increase in growth by 58, 66 and 105% in *Pterocladia caerulescens*

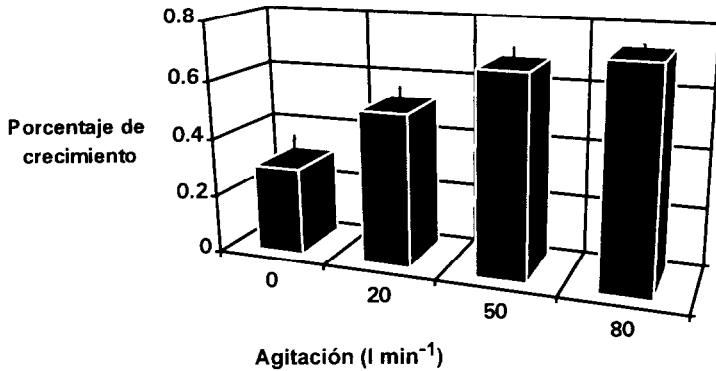


Figura 4. Crecimiento de *Gelidium robustum* expuesto a diferentes intensidades de agitación (n = 2; I = error estándar).

Figure 4. Growth of *Gelidium robustum* exposed to different intensities of agitation (n = 2; I = standard error).

La máxima luz incidente fue $1600 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y las temperaturas máxima y mínima del ambiente, 25.5 y 12°C, respectivamente.

DISCUSIÓN

En el presente trabajo se observó el efecto del movimiento del agua en el crecimiento de *G. robustum*, *in situ* y en condiciones semicontroladas. Los resultados muestran que el crecimiento fue proporcional al movimiento y resultó significativamente superior al reportado por otros autores (Barilotti y Silverthorne 1972; Guzmán del Próo y de la Campa de Guzmán, 1978; Harger y Neushul, 1982). El movimiento del agua como estimulante del crecimiento ha sido demostrado en laboratorio para algunas gelidiales. Santelices (1978) logró incrementar el crecimiento 58, 66 y 105% en *Pterocladia caerulescens* (Kut.) Sant., *Gelidiella acerosa* (Fors.) Feld. y Ham. y *P. capillacea* (Gmel.) Born. y Thur., respectivamente, al incrementar la velocidad de la corriente en un vibrador rotatorio de 0 a 160 rpm., Barilotti (comunicación personal) obtuvo un incremento en las elongaciones de *G. robustum* de hasta 0.71 mm día^{-1} , al incrementar la velocidad de la corriente a

(Kut.) Sant., *Gelidiella acerosa* (Fors.) Feld. and Ham. and *P. capillacea* (Gmel.) Born. and Thur., respectively, by increasing the current velocity in a rotary vibrator from 0 to 160 rpm. Barilotti (personal communication) obtained an increase in the elongations of *G. robustum* from 0.71 mm day^{-1} by increasing the current velocity from 0.3 m s^{-1} under controlled conditions. The results of some *in situ* investigations on the growth of *G. robustum* have led to the conclusion that this species presents an inherent low growth from 0.36 mm day^{-1} to 0.63 mm day^{-1} or not greater than $0.36\% \text{ day}^{-1}$ (Barilotti and Silverthorne, 1972; Guzmán del Próo and de la Campa de Guzmán, 1978; Harger and Neushul, 1982). In *in situ* cultures, Melo *et al.* (1991) observed differences in growth as a function of hydrodynamic conditions. However, the effect of water movement on growth has not been demonstrated *in situ* for gelidiales (Santelices, 1991).

Based on the above, this study demonstrates the effect that controlling certain hydrodynamic conditions can have on the growth of *G. robustum*, and how low growth, that has been considered inherent, can be managed in the gelidiales (Stewart, 1984).

0.3 m s⁻¹ bajo condiciones controladas. Los resultados de algunas investigaciones *in situ* sobre el crecimiento de *G. robustum* han llevado a concluir que esta especie presenta bajo crecimiento inherente que va de 0.36 mm día⁻¹ a 0.63 mm día⁻¹ o no mayor de 0.36% día⁻¹ (Barilotti y Silverthorne, 1972; Guzmán del Prío y de la Campa de Guzmán, 1978; Harger y Neushul, 1982). En cultivos *in situ*, Melo *et al.* (1991) observaron diferencias en el crecimiento en función de las condiciones hidrodinámicas. Sin embargo, el efecto del movimiento sobre el crecimiento no se ha demostrado *in situ* para gelidiales (Santelices, 1991).

Con base en lo anterior, este estudio demuestra el efecto que puede tener el control de ciertas condiciones hidrodinámicas sobre el crecimiento de *G. robustum*, y cómo puede ser manejado el bajo crecimiento que se ha considerado inherente a las gelidiales (Stewart, 1984).

En este trabajo, el crecimiento máximo encontrado en *G. robustum* bajo condiciones semicontroladas fue de 3.6% día⁻¹ e *in situ* de 1.5% día⁻¹. Melo *et al.* (1991) reportaron para esta misma especie en California un máximo de 2.28% día⁻¹. Estos crecimientos mayores se pueden atribuir a que las plantas estuvieron bajo condiciones favorables de irradiancia, temperatura, cantidad de nutrimentos y movimiento del agua (Hanisak y Ryther, 1984). La causa específica de cómo el movimiento estimula el crecimiento (suponiendo que no hay limitantes de luz y nutrimentos) se desconoce (Fredriksen *et al.*, 1993). Westlake (1967) considera que el aumento del crecimiento se debe a que el movimiento del agua produce efectos en la fotosíntesis y respiración de las plantas, que provocan metabolismos más acelerados. Santelices (1991) afirma que una buena difusión es el resultado de mayor movimiento de agua o buen suplemento de nutrimentos, de lo que regularmente resulta un efectivo uso de los niveles de irradiancia y temperatura, que trae como consecuencia, a su vez, el crecimiento rápido de las plantas. Sin embargo, se ha observado que el incremento en el crecimiento producido por el aumento en la velocidad de la corriente tiene límites. En *P. capillacea* se observó que, cuando la velocidad

The maximum growth registered in this study for *G. robustum* under semicontrolled conditions was 3.6% day⁻¹ and 1.5% day⁻¹ *in situ*. Melo *et al.* (1991) reported for this same species in California a maximum of 2.28% day⁻¹. These greater growths can be attributed to the fact that the plants were under favorable conditions of irradiance, temperature, nutrient supply and water movement (Hanisak and Ryther, 1984). The specific cause of how movement stimulates growth (supposing that there are no limitations of light and nutrients) is unknown (Fredriksen *et al.*, 1993). Westlake (1967) believes that an increase in growth is due to the effects of water movement in the photosynthesis and respiration of the plants that promote a more accelerated metabolism. Santelices (1991) affirms that a good diffusion is the result of greater water movement or a good supply of nutrients, which regularly results in an effective use of the irradiance and temperature levels, and at the same time, greater growth of the plants. However, it has been observed that an increase in growth produced by an increase in current velocity has its limits. It was observed in *P. capillacea* that, when current velocity is increased greater than 120 rpm, growth remains the same or decreases. According to Santelices (1978), this tolerance limit is a function of nutrient and gas diffusion requirements and the mechanical resistance of the plant.

The fact that growths of 1.5% day⁻¹ were recorded *in situ* and 3.6% day⁻¹ in semicontrolled conditions, makes it possible to consider the feasibility of stimulating the growth of *G. robustum* by controlling the hydrodynamics in tank cultures as well as culture structures in their natural environment (Melo *et al.*, 1991; Hansen, 1980; Hansen *et al.*, 1981). The above was demonstrated *in situ* since the plants exposed to greater energy obtained a growth of 1.5% day⁻¹. This value (1.5% day⁻¹) was much greater than the 0.36% day⁻¹ reported by Harger and Neushul (1982) for *G. robustum* in California, and less than the maximum growth of 2.28% day⁻¹ recorded by Melo *et al.* (1982) for this same species in Ellwood Pier, California. The difference in the previous results can be attributed to dissimilar environmental condi-

de la corriente se incrementa más allá de las 120 rpm, su crecimiento permanece igual o disminuye. De acuerdo con Santelices (1978), este límite de tolerancia es función de los requerimientos de difusión de nutrientes y gases, y la resistencia mecánica de la planta.

El que en este trabajo se haya registrado crecimiento *in situ* de 1.5% día⁻¹ y crecimiento bajo condiciones semicontroladas de 3.6% día⁻¹ permite considerar la factibilidad de estimular el crecimiento de *G. robustum* mediante el manejo hidrodinámico, tanto en cultivos en tanque, como en estructuras de cultivo en su ambiente natural (Melo *et al.*, 1991; Hansen, 1980; Hansen *et al.*, 1981). Lo anterior se demostró *in situ*, ya que las plantas expuestas a mayor energía tuvieron crecimiento de 1.5% día⁻¹. Este valor (1.5% día⁻¹) fue mucho mayor que el de 0.36% día⁻¹ reportado por Harger y Neushul (1982) en *G. robustum* de California y menor que el máximo crecimiento registrado por Melo *et al.* (1991), de 2.28% día⁻¹ para esta misma especie en Ellwood Pier, California. La diferencia en los resultados anteriores se puede atribuir a que las condiciones ambientales a las que estuvieron expuestas las plantas no fueron similares en los experimentos.

Es importante hacer notar que en este trabajo la proporción de humedad no fue constante. En los experimentos en tanques, las plantas mostraron un menor porcentaje de humedad (69%) en comparación con los valores encontrados en poblaciones naturales (75%). La determinación del crecimiento por peso fue un método confiable (Brinkhuis, 1985). Estas mediciones permiten asegurar que el crecimiento aquí reportado fue producto de un aumento en la biomasa y no en la humedad de la planta.

Por todo lo anterior, se concluye que *G. robustum* no tiene un bajo crecimiento inherente, como afirmó Stewart (1984), ya que los altos crecimientos reportados en este trabajo y otros (Melo *et al.*, 1991) sugieren que el bajo crecimiento inherente atribuido anteriormente a esta especie debe ser interpretado como producto de las diferentes condiciones ambientales en que se encuentre *G. robustum*.

tions that the plants were exposed to in the experiments.

It is important to note that in this study, the proportion of water content was not constant. In the tank experiments, the plants showed a lower percentage of water (69%) compared to the values found in natural populations (75%). The method used to determine growth by weight was reliable (Brinkhuis, 1985). These measurements assure that the growth reported here was a product of an increase in the biomass and not of the water in the plant.

Due to the above, it is concluded that *G. robustum* does not have an inherent low growth as indicated by Stewart (1984), since the high growths reported in this study and others (Melo *et al.*, 1991) suggest that the inherent low growth previously attributed to this species should rather be interpreted as a product of the different environmental conditions in which *G. robustum* is found.

ACKNOWLEDGEMENTS

We appreciate the support from the *Universidad Autónoma de Baja California* for this research.

English translation by Jennifer Davis.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Autónoma de Baja California el apoyo a esta Investigación.

REFERENCIAS

- Anderson, M.S. and Charters, A.C. (1982). A fluid dynamics study of seawater flow through *Gelidium nudifrons*. *Limnol. Ocean.*, 27(3): 399-412.
- Barilotti, C.D. (1980). Genetic considerations and experimental design of outplanting studies. In: I. Abbott, M. Foster, and L. Eklund (eds.), *Pacific Seaweed Aquaculture*. California Sea Grant College Program, UCSD, pp. 10-18.

- Barilotti, C.D. and Silverthorne, W. (1972). A resource management study of *Gelidium robustum*. **Proc. Inter. Seaweed Symp.**, 7: 255-261.
- Brinkhuis, B.H. (1985). Growth pattern rates. Ecological field methods: Macroalga. In: M.M. Littler and D.S. Littler (eds.), **Handbook of Phycological Methods**. Cambridge Univ. Press., pp. 461-477.
- Carter, A.R. and Anderson, R.J. (1986) Seasonal growth and agar contents in *Gelidium pristoides* (Gelidiales, Rhodophyta) from Port Alfred, South Africa. **Bot. Mar.**, 29: 117-123.
- Fredriksen, S., Rico, J.M. and Rueness, J. (1993). Comparison of *Gelidium latifolium* (Grev.) Born. et Thur. (Gelidiales, Rhodophyta) isolates from Spain and Norway. **J. Appl. Phycol.**, 5: 405-415.
- Guzmán del Prío, S.A. and de la Campa de Guzmán, S. (1978). *Gelidium robustum* (Florideophyceae), an agarophyte of Baja California, Mexico. **Proc. Int. Seaweed Symp.**, 9: 303-308.
- Hanisak, M.D. and Ryther, J.H. (1984). Cultivation biology of *Gracilaria tikvahiae* in the United States. In: C.J. Bird and M.A. Ragan (eds.), **Eleventh International Seaweeds Symposium. Developments in Hydrobiology 22**. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, 295-298. Reprinted from **Hydrobiologia** 116/117.
- Hansen, J.E. (1980). Physiological considerations in the mariculture of red algae. In: I. Abbott, M. Foster and L. Eklund (eds.), **Pacific Seaweed Aquaculture**. California Sea Grant College Program, UCSD, pp. 80-92.
- Hansen, J.E., Packard, J.E. and Doyle, W.T. (1981). **Mariculture of Red Seaweeds**. Report # T-CSGCO-002. California Sea Grant College Program Publication, 42 pp.
- Harger, B.W.W. and Neushul, M. (1982). Macroalgal mariculture. In: A. San Prieto (ed.), **Biosaline Research: A Look to the Future**. Plenum Publishing Corporation, New York, pp. 393-404.
- Melo, R.A., Harger, B.W.W. and Neushul, M. (1991). *Gelidium* cultivation in the sea. **Hidrobiología**, 221: 91-106.
- Meteorology International Inc. (1977). **Deep Water Wave Statistics for the California Coast**. Station G. Dept. of Navigation and Ocean Development. Sacramento, CA, 60 pp.
- Santelices, B. (1978). Multiple interaction of factors in the distribution of Hawaiian Gelidiales (Rhodophyta). **Pac. Sci.**, 32(2): 119-147.
- Santelices, B. (1991). Production ecology of *Gelidium*. **Hidrobiología**, 221: 31-44.
- Sokal, R. and Rohlf, F.J. (1981). **Biometry**. 2nd. Ed., W.H. Frelman & Co., San Francisco, 859 pp.
- Stewart, J.G. (1968). Morphological variation in *Pterocaldia pyramidale* (Rodophyta). **J. Phycol.**, 4: 76-84.
- Stewart, J.G. (1984). Vegetative growth rates of *Pterocaldia capillacea* (Gelidiaceae, Rodophyta). **Bot. Mar.**, 26: 85-94.
- Westlake, D.F. (1967). Some effects of low velocity currents on the metabolism of aquatic macrophytes. **J. Exp. Bot.**, 18(55): 187-205.
- Zertuche-González, J.A., García-Esquivel, Z. and Brinkhuis, B.H. (1987). Tank culture of red seaweed *Euclima incinatu* from the Gulf of California. **Ciencias Marinas**, 13(2): 1-18.