

**EFFECTO DEL NITROGENO EN EL CRECIMIENTO Y CONTENIDO  
DE CARRAGENANO EN *Gigartina canaliculata* HARV.  
(RHODOPHYTA, GIGARTINALES),  
EN TANQUES EXTERIORES DE CULTIVO**

**NITROGEN EFFECT ON GROWTH AND CARRAGEENAN  
CONTENT IN *Gigartina canaliculata* HARV.  
(RHODOPHYTA, GIGARTINALES),  
IN OUTDOOR TANK CULTURES**

Marco Aurelio González-Gómez  
José Antonio Zertuche-González  
Isaí Pacheco-Ruíz

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

*Recibido en noviembre de 1991; aceptado en junio de 1992*

**RESUMEN**

Se cultivó *Gigartina canaliculata* bajo diferentes condiciones de nutrición, en tanques de 100 l, para estudiar el efecto en el crecimiento, producción y calidad de carragenano. Los cultivos fueron tratados con cuatro frecuencias de fertilización: cada dos, cuatro, siete y catorce días, durante siete semanas. Para la fertilización se expuso a las algas a una dosis de 100:10  $\mu\text{M}$  de  $\text{NO}_3^-:\text{PO}_4^{-2}$  por tres horas. Se observó una relación inversa entre el crecimiento y la producción de carragenano: el mayor crecimiento se encontró en el cultivo más fertilizado (5.5%  $\text{d}^{-1}$ ), la mayor producción de carragenano en el menos fertilizado (49%). La máxima fuerza de gel fue de 41  $\text{g cm}^{-2}$  para los cultivos más fertilizados (dos y tres veces por semana). No hubo, sin embargo, diferencias significativas en el contenido de sulfatos entre los tratamientos (22%). Las diferentes dosis de nutrientes produjeron un incremento en el rendimiento del carragenano de aproximadamente un 5% mayor en el cultivo menos fertilizado contra el más fertilizado. Sin embargo, la producción de biomasa fue mayor (1.8 veces) para el cultivo más fertilizado. Así, el rendimiento de carragenano neto por tanque fue mayor para los cultivos más fertilizados.

*Palabras clave:* Nitrógeno, crecimiento, carragenano, *Gigartina canaliculata*, cultivo.

**ABSTRACT**

*Gigartina canaliculata* was cultivated under different nutrient conditions in 100-l tanks, to study the effect on growth and yield and quality of carrageenan. The cultures were under four frequencies of pulse fertilization: every 2, 4, 7 and 14 days, for seven weeks. The doses for each fertilization consisted of 100:10  $\mu\text{M}$  of  $\text{NO}_3^-:\text{PO}_4^{-2}$  for three hours. An inverse relationship was observed between growth and carrageenan yield: the highest growth was observed in the more fertilized culture (5.5%  $\text{day}^{-1}$ ), whereas the highest carrageenan yield was observed in the less fertilized culture (49%). Maximum gel strength was 41  $\text{g cm}^{-2}$  for the more fertilized cultures (two and three times a week). However, there were no significant differences in the sulfate content among the treatments (22%). The different nutrient doses resulted in a difference in carrageenan

yield of approximately 5% among the highest and the lowest fertilized culture. The production of biomass, however, was 1.8 times higher for the more fertilized culture. Thus, carrageenan yield production per tank was much higher for the more fertilized culture.

*Key words:* Nitrogen, growth, carrageenan, *Gigartina canaliculata*, culture.

## INTRODUCCION

El valor económico de las algas rojas se basa principalmente en su contenido de ficocoloides (Doty, 1979). En la actualidad existe un fuerte interés en aumentar la producción de éstos, por lo que se hace necesario conocer los factores ambientales que afectan el crecimiento y la composición química de las algas de importancia comercial; este conocimiento es útil si se quiere optimizar cultivos potenciales o decidir el mejor tiempo de cosecha en poblaciones naturales.

DeBoer (1981) mencionó que la radiación solar, la temperatura y la concentración de nutrientes son algunos de los factores importantes para el crecimiento de las algas. Entre éstos, los nutrientes inorgánicos en el agua son el principal limitante de la productividad y crecimiento de las mismas y, en algunos casos, pueden controlar su contenido bioquímico, reproducción, morfología y distribución (Lobban *et al.*, 1985).

Se han efectuado algunos trabajos para observar el efecto que tiene el nitrógeno inorgánico en el crecimiento de las algas y la producción de ficocoloides. Así, por ejemplo, Neish y Shacklock (1971), Neish *et al.* (1977), DeBoer (1979) y Bird *et al.* (1981) encontraron que las razones de crecimiento aumentan al incrementarse las concentraciones de nitrógeno inorgánico, mientras que el contenido de ficocoloide es alto con concentraciones bajas de nitrógeno y disminuye con concentraciones altas. En macroalgas, esta relación comúnmente llamada *efecto Neish*, no siempre se observa y en estudios de poblaciones naturales se han notado resultados contrarios (Penniman y Mathieson, 1987). Sin embargo, dicho efecto se postula frecuentemente como una posibilidad de incrementar la producción del ficocoloide en cultivos potencialmente comerciales, cultivando las plantas con bajas concentraciones de nutrientes, aunque los estudios mencionados no expresan en forma cuantitativa los beneficios de aumentar la producción del gel sacrificando un posible mayor crecimiento.

## INTRODUCTION

The economical value of red seaweeds is based mainly on their phycocolloid content (Doty, 1979). At present, there is a strong interest to increase phycocolloid production, so it is necessary to know the environmental factors that affect the growth and chemical composition of seaweeds of commercial interest. This knowledge is useful in order to optimize potential cultures or to decide the best time to harvest natural populations.

DeBoer (1981) mentioned that solar radiation, temperature and the concentration of nutrients are some of the factors that affect growth in seaweeds. Among them, it has been seen that inorganic nutrients are the principal factor limiting productivity and growth and, in some cases, may control their biochemical content, reproduction, morphology and distribution (Lobban *et al.*, 1985).

Studies have been carried out to determine the effect of inorganic nitrogen on the growth of seaweeds and phycocolloid production. Thus, for example, Neish and Shacklock (1971), Neish *et al.* (1977), DeBoer (1979) and Bird *et al.* (1981) found that the growth rate increases as the concentration of inorganic nitrogen increases, whereas the phycocolloid content is high at low nitrogen concentrations and decreases at high concentrations. This relationship in seaweeds, commonly called the *Neish effect*, is not always observed and, in some studies on natural populations, the contrary effect has been observed (Penniman and Mathieson, 1987). The Neish effect, however, is frequently mentioned as a possibility to increase the production of phycocolloids in commercially potential cultures, culturing the plants under low nutrient concentrations. The above studies, however, do not express in a quantitative form the benefits of increasing gel production by sacrificing a possible greater growth.

In the present study, the production of biomass *versus* the production of carrageenan of *Gigartina canaliculata* (Harv., 1841) cultured in an outdoor system was evaluated

En la presente investigación se evaluó cuantitativamente la producción de biomasa *versus* la producción de carragenano de *Gigartina canaliculata* (Harv., 1841) cultivada en tanques exteriores bajo diferentes condiciones de nutrición. El estudio se planteó en respuesta al creciente interés por estudiar las algas de Baja California, aunado a la carencia de estudios básicos sobre los efectos que producen los nutrientes en el crecimiento y producción de ficocoloides en *G. canaliculata*, y su posible aplicación para cultivo (Zertuche-González, 1989). Esta especie ocupa en México el tercer lugar en cuanto a demanda comercial y se han iniciado ya algunas investigaciones básicas encaminadas a desarrollar su cultivo (Guzmán-del Próo, 1974; Pacheco-Ruíz, 1988; Pacheco-Ruíz *et al.*, 1989).

## MATERIALES Y METODOS

Se colectaron ejemplares de *G. canaliculata* de un manto ubicado en la parte norte de la Bahía de Todos Santos (Faro de San Miguel), en Baja California, México. Las plantas se mantuvieron en tanques de plástico con una capacidad aproximada de 90 l, abastecidos con agua de mar y aire en forma continua (Zertuche-González *et al.*, 1987).

Durante dos semanas las plantas se mantuvieron sin flujo continuo de agua de mar (únicamente con aereación), con el propósito de experimentar con plantas sin altas reservas de nutrientes que pudieran enmascarar el efecto de las fertilizaciones.

Se colocaron 75 g de plantas de *G. canaliculata* sin estructuras reproductoras, de un tamaño aproximado de 15 cm, en cada uno de cuatro tanques. Estos se mantuvieron con un flujo de ocho volúmenes diarios de agua de mar y 53% de luz ambiental incidente, que resultó de sombrearlos con una malla de mosquitero de plástico. Se hicieron mediciones de irradiancia (QSL-100 Biospherical Instruments) diariamente durante el experimento, a las 13:00 horas, para obtener el valor máximo promedio al que las plantas fueron expuestas.

Cada uno de los tanques se fertilizó durante un período de tres horas, con 100  $\mu\text{M}$  de nitratos ( $\text{NaNO}_3$ ) y 10  $\mu\text{M}$  de fosfatos ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ), en la siguiente forma: tres veces por semana (F3), dos veces por semana (F2), una vez por semana (F1) y una vez cada dos semanas (F/2). El agua que estuvo circulando

under different nutrient conditions. The study was developed due to the increasing interest to study commercial seaweed in Baja California, as well as to the lack of basic studies on the effects that nutrients produce on the growth and production of phycocolloids in *G. canaliculata* and its possible application in culture (Zertuche-González, 1989). This species is the third most important seaweed in Mexico based on its commercial demand and studies towards its culture have been initiated (Guzmán-del Próo, 1974; Pacheco-Ruíz, 1988; and Pacheco-Ruíz *et al.*, 1989).

## MATERIALS AND METHODS

Samples of *G. canaliculata* were collected from a seaweed bed located in the northern part of Bahía de Todos Santos (San Miguel lighthouse), Baja California, Mexico. The plants were kept in plastic tanks of approximately 90-l capacity, provided with seawater and air in continuous form (Zertuche-González *et al.* 1987). The plants were maintained without seawater flux (only with aeration) for two weeks in order to lower their nutrient reserves that could shade the effect of the fertilizations.

In each of the four tanks, 75 g of *G. canaliculata* without reproductive structures were placed. The tanks were maintained with a seawater flux of eight volumes per day and 53% of incident light that resulted from shading with one mosquito plastic screen. Irradiance was measured daily (QSL-100 Biospherical Instruments) at 13:00 to obtain the maximum irradiance to which the cultures were exposed.

Each of the tanks was fertilized during three hours with 100  $\mu\text{M}$  of nitrate ( $\text{NaNO}_3$ ) and 10  $\mu\text{M}$  of phosphates ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ), with the following frequencies: three times a week (F3), twice a week (F2), once a week (F1) and every other week (F/2). Seawater circulating in the tanks had an average concentration of 3.31  $\mu\text{M}$  of nitrates and 0.47  $\mu\text{M}$  of phosphates during the experiment. The analysis of nutrients was carried out following the methods described by Strickland and Parsons (1972).

The cultures were maintained for 49 days from September 19 to November 7. Every seven days the plants were cleaned of epiphytes, weighed and harvested to the original biomass in order to keep a constant biomass in each tank. The biomass harvested was dried at

en los tanques tuvo un promedio de  $3.31 \mu\text{M}$  de nitratos,  $0.32 \mu\text{M}$  de nitritos y  $0.47 \mu\text{M}$  de fosfatos, durante el desarrollo del experimento. El análisis de los nutrientes se llevó a cabo según los métodos descritos por Strickland y Parsons (1972).

Los cultivos se mantuvieron durante 49 días, del 19 de septiembre al 7 de noviembre. Cada siete días, las algas se limpiaron de epífitas, se pesaron y se cosecharon a su peso inicial, con el fin de mantener una biomasa constante en cada tanque. La biomasa cosechada se secó a  $60^\circ\text{C}$  hasta peso constante (Brinkhuis, 1985). Con base en el peso seco de la cosecha se obtuvieron las razones de crecimiento mediante la fórmula:

$$C = \left[ (W_t / W_o)^{(1/t)} - 1 \right] 100$$

donde  $C$  es crecimiento;  $W_o$ , peso inicial, y  $W_t$ , peso al tiempo  $t$  (en días) (Zertuche-González, 1989).

Con la muestra seca de la cosecha final de *G. canaliculata* se llevó a cabo la extracción de carragenano, por duplicado, siguiendo el método que describen Craigie y Leigh (1978). El porcentaje de sulfatos se midió con un procedimiento modificado del método turbidimétrico de Tabatabai descrito por Craigie *et al.* (1984); los análisis se hicieron por triplicado. La fuerza del gel se evaluó por duplicado, usando geles de carragenano al 2%, en una solución de KCl al 0.2% y se determinó usando una varilla metálica de 1.2 cm de diámetro.

Los datos mostraron distribución normal y homogeneidad de varianza. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA), para determinar diferencias entre los distintos tratamientos. Posteriormente se aplicó una prueba de comparaciones múltiples de Student-Newman-Keuls para comparar las medias de cada uno de los tratamientos (Zar, 1984).

## RESULTADOS

El cultivo más fertilizado (F3) tuvo el máximo crecimiento promedio,  $5.5\% \text{ d}^{-1}$ , y el menos fertilizado (F/2) el mínimo,  $2.8\% \text{ d}^{-1}$  (Tabla 1). El crecimiento de los cultivos F3 y F2 fue significativamente diferente al del F/2 ( $P = 0.05$ ) (Tabla 2).

Los cambios en la morfología de las plantas de los cultivos F3 y F2 fueron noto-

$60^\circ\text{C}$  until a constant weight was obtained (Brinkhuis, 1985). Growth rate based on dry weight was obtained according to the formula (Zertuche-González, 1989):

$$C = \left[ (W_t / W_o)^{(1/t)} - 1 \right] 100$$

where  $C$  is the growth,  $W_o$  the initial weight and  $W_t$  the weight at time  $t$  (days).

The carrageenan content was determined from dry samples, in duplicate, following the method described by Craigie and Leigh (1978). The percentage of sulfates was obtained by the modified Tabatabai method proposed by Craigie *et al.* (1984). The analyses were made in triplicate. Gel strength was measured in duplicate from a 2% carrageenan solution of KCl (0.2%) and using a 1.2 cm diameter probe.

Data showed a normal distribution and variance homogeneity. An ANOVA was used to test for differences in the treatments and a Student-Newman-Keuls test for multiple mean comparisons (Zar, 1984).

## RESULTS

The most fertilized culture (F3) had the maximum average growth,  $5.5\% \text{ day}^{-1}$ , and the least fertilized (F/2) the minimum,  $2.8\% \text{ day}^{-1}$  (Table 1). The growth of the F3 and F2 cultures was significantly different to that of F/2 ( $P = 0.05$ ) (Table 2).

Changes in the plant morphology of the F3 and F2 cultures were noticed. The thalli were more densely branched. These changes were not noticed in the less fertilized culture (F/2). Fertilized plants also showed a more intense red coloration than plants with less nutrients.

The maximum carrageenan content was 49% (dry weight) and was present in F/2, and the minimum was 44% in the F3 culture (Table 1). The carrageenan content of the F1 and F/2 cultures was significantly different to that of F3 (Table 2).

Regarding the effect of fertilization frequency on biomass production, it was observed that from an initial biomass of 75 g wet weight, the more fertilized culture produced 240 g of biomass and 18 g of carrageenan at the end of the experiment, while the less fertilized culture produced 130 g of

**Tabla 1.** Crecimiento, rendimiento de carragenano, fuerza de gel y contenido de sulfatos de *G. canaliculata* cultivada bajo diferentes frecuencias de fertilización. F3: tres veces por semana, F2: dos veces por semana, F1: una vez por semana y F/2: una vez cada dos semanas. Los ensayos se realizaron por triplicado;  $\pm$  desviación estándar.

**Table 1.** Growth, carrageenan yield, gel strength and sulfate content from *G. canaliculata*, cultured under different frequencies of fertilization: F3, three times a week; F2, twice a week; F1, once a week; F/2, every other week. The assay in triplicate;  $\pm$  standard deviation.

Frecuencia	Crecimiento* (% día <sup>-1</sup> )	Carragenano* (%)	Fuerza de gel (g cm <sup>2</sup> )	Sulfatos (%)
F3	5.5 $\pm$ 1.71	43.8 $\pm$ 1.11	41.1 $\pm$ 1.40	22.1 $\pm$ 0.13
F2	4.9 $\pm$ 1.41	45.6 $\pm$ 0.10	41.7 $\pm$ 1.47	22.1 $\pm$ 0.27
F1	3.8 $\pm$ 1.26	47.2 $\pm$ 0.32	39.0 $\pm$ 1.58	22.0 $\pm$ 0.29
F/2	2.8 $\pm$ 0.90	48.6 $\pm$ 0.30	36.3 $\pm$ 1.43	22.0 $\pm$ 0.37

\* Los valores están basados en el peso seco de la biomasa.

**Tabla 2.** Resultados del análisis de varianza y comparación de medias para el crecimiento, rendimiento de carragenano, fuerza de gel y sulfatos de *G. canaliculata*, a diferentes frecuencias de fertilización. F3: tres veces por semana, F2: dos veces por semana, F1: una vez por semana y F/2: una vez cada dos semanas.

**Table 2.** Results of ANOVA and multiple mean comparisons for the growth, carrageenan yield, gel strength and sulfate content from *G. canaliculata*, at different frequencies of fertilization: F3, three times a week; F2, twice a week; F1, once a week; F/2, every other week.

Variable	Resultados ANOVA	Comparación de medias
Crecimiento	*	F/2 < F2 = F3
Carragenano	*	F3 < F1 = F/2
Fuerza de gel	*	F/2 < F3 = F2
Sulfatos	NS	

\*  $\alpha = 0.05$

NS = No significativo

rios. Los talos se volvieron densos en ramificaciones, mientras que en el cultivo menos fertilizado (F/2) las plantas no sufrieron cambios. Las plantas con altas concentraciones de nutrientes mostraron también un rojo más intenso que aquéllas con menos nutrientes.

El máximo contenido de carragenano fue de 49% (peso seco) y se presentó en el cultivo F/2; el mínimo, de 44% (peso seco), corres-

pondió a 11 g de carragenano (Tabla 3). El aumento en biomasa de los cultivos más fertilizados se debió al aumento en ramificación y no al aumento en longitud o espesor del talo.

El máximo fuerza de gel (41.7 g cm<sup>-2</sup>) se obtuvo del cultivo F2 y el mínimo (36.3 g cm<sup>-2</sup>) del cultivo F/2 (Tabla 1). No hubo diferencias en fuerza de gel

**Tabla 3.** Efecto de la frecuencia de fertilización en la producción de biomasa y carragenano en *G. canaliculata*. F3: tres veces por semana, F2: dos veces por semana, F1: una vez por semana y F/2: una vez cada dos semanas.

**Table 3.** Effect of the frequencies of fertilization on the production of biomass and carrageenan in *G. canaliculata*: F3, three times a week; F2, twice a week; F1, once a week; F/2, every other week.

Frecuencia	Biomasa* inicial (g)	Producción total de biomasa (g)	Producción total de carragenanos (g)
F3	75	240* (42.9)**	18.8
F2	75	216 (38.6)	17.6
F1	75	160 (28.6)	13.5
F/2	75	130 (23.2)	11.3

\* Biomasa en peso húmedo.

\*\* Biomasa en peso seco. Humedad = 82.12%.

pondió al cultivo F3 (Tabla 1). El contenido de carragenano de los cultivos F1 y F/2, fue significativamente diferente del F3 (Tabla 2).

Respecto al efecto de la frecuencia de fertilización en la producción de biomasa y carragenano, se observó que a partir de una biomasa inicial de 75 g de peso húmedo, el cultivo más fertilizado produjo una biomasa de 240 g y una producción de carragenano de 18 g al final del experimento, mientras que el cultivo menos fertilizado produjo una biomasa de 130 g y 11 g de carragenano (Tabla 3). El incremento de biomasa de los cultivos más fertilizados se debió al incremento en las ramificaciones de las plantas y no al aumento en la longitud ni al engrosamiento del talo.

La fuerza de gel presentó un máximo de 41.7 g cm<sup>-2</sup> en el cultivo F2 y un mínimo de 36.3 g cm<sup>-2</sup> en el F/2 (Tabla 1). No se observaron diferencias en la fuerza del gel para los cultivos F3 y F2, pero las fuerzas de éstos fueron diferentes a la del gel de carragenano del cultivo F/2 (Tabla 2). Todas las muestras de carragenano tuvieron un 22% de sulfatos, sin diferencias significativas entre ellas.

## DISCUSION

Los resultados de este trabajo muestran una relación inversa entre la acumulación de carragenano y la disponibilidad de nutrientes, de manera similar a la encontrada por Neish y Shacklock (1971), DeBoer (1979), Bird *et al.*

were observed for the F3 and F2 cultures but they were different to the gel strength of the F/2 culture (Table 2). All carrageenan samples showed a 22% sulfate content with no significant differences among them (Table 2).

## DISCUSSION

The results of this study show an inverse relationship between the carrageenan content and the availability of nutrients, similar to that found by Neish and Shacklock (1971), DeBoer (1979), Bird *et al.* (1981), Craigie *et al.* (1984), Rotem *et al.* (1986) and Bird (1988). However, the effect is much less in the carrageenan yield variation than in the biomass production, so it is not "profitable" to apply the Neish effect to increase the production of carrageenan in potentially commercial cultures.

In spite of the fact that there is a decrease in carrageenan content when the fertilization frequency is increased (Table 1), the total carrageenan production per tank at the end of the experiment is larger in the more fertilized culture (Table 3). This is due to larger biomass production of the F3 culture (1.8 times) when compared to the F/2 culture (Table 3). On the other hand, the variation in carrageenan content was of only 5% in the same cultures (Table 1). Therefore, in practical terms, in order to obtain a larger carrageenan production it is more important to stimulate biomass production.

(1981), Craigie *et al.* (1984), Rotem *et al.* (1986) y Bird (1988); sin embargo, demuestran que el efecto es mucho menor en la variación del rendimiento de carragenano que en la variación de producción de biomasa, de manera que resulta incosteable aplicar el efecto Neish para incrementar la producción de carragenano en cultivos potencialmente comerciales.

A pesar de que existe una disminución en el contenido de carragenano cuando se aumenta la frecuencia de fertilización (Tabla 1), la producción total de carragenano al final del experimento es mayor en el cultivo más fertilizado que en el menos fertilizado (Tabla 3). Esto es debido a la mayor producción de biomasa en el cultivo F3, superior 1.8 veces a la producción del cultivo F/2 (Tabla 3); en cambio la variación en el contenido de carragenano es de sólo 5%, en los mismos cultivos (Tabla 1). Por tanto, en términos prácticos, para obtener una mayor producción de carragenano es más importante estimular la producción de biomasa.

El aumento en la fuerza de gel cuando se incrementa la frecuencia de fertilización indica que el régimen nutricional afecta la calidad del carragenano. Estos resultados concuerdan con los de Bird *et al.* (1981), quienes mencionan que existe una correlación positiva entre el nitrógeno del medio y la fuerza de gel. Sin embargo, Craigie y Wen (1984) demostraron también que la temperatura y la edad del tejido tienen un efecto importante en la fuerza del gel de agarofitas.

En el presente estudio, el contenido de sulfatos no fue afectado por las diferentes frecuencias de fertilización, pero se notaron diferencias en la fuerza del gel. Esto indica que, en el caso del carragenano de *G. canaliculata*, la fuerza de gel no depende solamente de la cantidad de sulfatos. Rotem *et al.* (1986), trabajando con *Gracilaria* sp., no encontraron diferencias en el contenido de sulfatos del agar entre las plantas desarrolladas en agua de mar natural y las cultivadas en un medio enriquecido con nutrientes. Bird *et al.* (1981) hallaron una relación positiva entre la fuerza de gel y el contenido de sulfatos para *Gracilaria* sp.; sin embargo, el intervalo de variaciones fue muy pequeño, por lo que posiblemente las diferencias en la fuerza del gel no se deban sólo al contenido de sulfatos.

En posteriores estudios, es necesario poner atención sobre las diferentes fuentes de

The increase in gel strength when the frequency of fertilization is increased indicates that the nutrition regime affects the carrageenan quality. These results are in agreement with those reported by Bird *et al.* (1981), who mentioned that there is a positive correlation in agar between the gel strength and the ambient nitrogen. Craigie and Wen (1984), however, demonstrated that the temperature and the age of the tissue also have an important effect on the gel strength of the agarophytes.

The sulfate content in the present study was not affected by the different frequencies of fertilization. There were, however, differences in gel strength. This indicates that in the carrageenan of *G. canaliculata*, the gel strength does not only depend on the sulfate content. Rotem *et al.* (1984) found no differences in the sulfate content of agar from *Gracilaria* sp. plants growing in natural seawater with enriched media. Bird *et al.* (1981) found a positive relationship between the gel strength and the sulfate content for *Gracilaria* sp. However, the variation range was very small, so it is possible that the differences in gel strength are not due only to the differences in sulfate content.

In future studies it is necessary to pay attention to the different sources of nitrogen used in fertilizations and their effect on the chemical and physical properties of the carrageenan. Furthermore, it is important to observe how other environmental factors interact with the nitrogen and affect the growth and carrageenan production of the plants.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This study was partially financed by the Universidad Autónoma de Baja California and the Mexican Council for Science and Technology (CONACYT), to whom we are grateful. We also thank Zaúl García-Esquivel and Felipe Correa for their suggestions.

English translation by the authors.

---

nitrógeno utilizadas en las fertilizaciones y su efecto en la calidad química y física de carragenano. Además, es importante observar cómo otros factores ambientales interactúan con el nitrógeno, y afectan el crecimiento y producción de carragenano en las plantas.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por el Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Se agradecen las sugerencias de Zaúl García Esquivel y Felipe Correa Díaz. El proyecto fue parcialmente financiado por la UABC y CONACYT, a los que manifestamos nuestro agradecimiento.

## LITERATURA CITADA

- Bird, K.T. (1988). Agar production and quality from *Gracilaria* sp. strain G-16: effects of environmental factors. *Bot. Mar.*, 31: 33-39.
- Bird, K.T., Hanisak, M.D. and Ryther, J. (1981). Chemical quality and production of agars extracted from *Gracilaria tikvahiae* growth in different nitrogen enrichment conditions. *Bot. Mar.*, 24: 441-444.
- Brinkhuis, B.H. (1985). Growth patterns and rates. In: M.M. Littler and D.S. Littler (eds.), *Handbook of Phycological Methods. Ecological Field Methods: Macroalgae*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp. 461-477.
- Craigie, J.S. and Leigh, C. (1978). Carrageenans and agars. In: J.A. Hellebust and J.S. Craigie (eds.), *Handbook of Phycological Methods: Phycological and Biochemical Methods*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp. 109-131.
- Craigie, J.S., Wen, Z.C. and van der Meer, J.P. (1984). Interspecific, intraspecific and nutritionally-determined variations in the composition of agars from *Gracilaria* spp. *Bot. Mar.*, 27: 55-61.
- Craigie, J.S. and Wen, Z.C. (1984). Effects of temperature and tissue age on gel strength and composition of agar from *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyceae). *Can. J. Bot.*, 62: 1665-1670.
- DeBoer, J.A. (1979). Effects of nitrogen enrichment on growth rates and phycolloids content in *Gracilaria foliifera* and *Neogardhiella baileyi* (Florideophyceae). *Proc. Int. Seaweed Symp.*, 9: 263-273.
- DeBoer, J.A. (1981). Nutrients. In: C.S. Lobban and M.J. Wynne (eds.), *The Biology of Seaweed*. Univ. of California Press, Berkeley, pp 356-392.
- Doty, M.S. (1979). Status of marine agronomy, with special reference to the tropics. *Proc. Int. Seaweed Symp.*, 9: 35-58.
- Guzmán del Prío, S.A., de la Campa de Guzmán, S. y Pineda-Barrera, J. (1974). La cosecha de algas comerciales en Baja California. *Inst. Nac. de Pesca, Serie de Divulgación*, pp. 611-614.
- Lobban, C.S., Harrison, J. and Duncan, M.J. (1985). *The Physiological Ecology of Seaweeds*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 242 pp.
- Neish, A.C. and Shacklock, P.F. (1971). Greenhouse experiments (1971) on the propagation of strain T4 of Irish moss. National Research Council of Canada, Atlantic Regional Laboratory Technical Report, Series No. 14, 25 pp.
- Neish, A.C., Shacklock, P.F., Fox, C.H. and Simpson, F.J. (1977). The cultivation of *Chondrus crispus*. Factors affecting growth under greenhouse conditions. *Can. J. Bot.*, 55: 2263-2271.
- Pacheco-Ruiz, I. (1988). Tres vegetales marinos de importancia económica en Baja California, México. Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC, Boletín No. 10.
- Pacheco-Ruiz, I., García-Esquivel, Z. and Aguilar-Rosas, L.E. (1989). Spore discharge in the carragenophyte *Gigartina canaliculata* Harvey (Rhodophyta, Gigartinales). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 126(3): 293-299.
- Penniman, C.A. and Mathieson, A.C. (1987). Variation in chemical composition of *Gracilaria tikvahiae* McLachlan (Gigartinales, Rhodophyta) in the Great Bay Estuary, New Hampshire. *Bot. Mar.*, 30: 525-534.
- Rotem, A., Roth-Bejerano, N. and Arad, S. (1986). Effect of controlled environmental conditions on starch and agar contents of *Gracilaria* sp. (Rhodophyceae). *J. Phycol.*, 22: 117-121.
- Strickland, J.D. and Parsons, T.R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*. Fish. Res. Board. Canada Bull., No. 167, 310 pp.
- Zar, J.H. (1984). *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, New Jersey, 718 pp.



González Gómez *et al.*: Nitrógeno en crecimiento y contenido de carragenano de *G. canaliculata*

Zertuche-González, J.A., García-Esquivel, Z. y Brinkhuis, B.H. (1987). Cultivo en tanques exteriores de alga roja *Eucheuma uncinatum* del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 13(2): 1-18.

Zertuche-González, J.A. (1989). Macroalgas y el desarrollo de su cultivo. En: J. de la Rosa-Vélez y F. González-Farías (eds.), *Temas de Oceanografía Biológica en México*. Ensenada, 337 pp.