

**VARIACIÓN ANUAL DE TALLA Y FENOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL
ALGA ROJA *Chondracanthus canaliculatus* (HARVEY) GUIRY EN
PUNTA SAN ISIDRO, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO**

**ANNUAL VARIATION IN SIZE AND REPRODUCTIVE PHENOLOGY OF
THE RED ALGA *Chondracanthus canaliculatus* (HARVEY) GUIRY AT
PUNTA SAN ISIDRO, BAJA CALIFORNIA, MEXICO**

María Guadalupe García-Lepe¹
Guillermo Ballesteros-Grijalva²
José Antonio Zertuche-González¹
Alfredo Chee-Barragán¹

¹ Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado postal 453
Ensenada 22800, Baja California, México

² Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado postal 453
Ensenada 22800, Baja California, México

Recibido en febrero de 1997; aceptado en septiembre de 1997

RESUMEN

De febrero de 1993 a febrero de 1994 se estudió mensualmente una población intermareal de la carragenofita de importancia económica *Chondracanthus canaliculatus* (Harvey) Guiry, localizada en la costa noroccidental de Baja California, México. Se determinó, en cada muestra de 450 plantas recolectadas al azar, el tamaño del talo (medido como la talla de la fronda más larga) y la presencia o ausencia de cistocarpos y de soros tetrasporangiales. El máximo de talla promedio, 25.02 cm, se registró en junio y el mínimo, 11.22 cm, en octubre. Las clases de tamaño de la 4 a la 8 (10 a 19.9 cm) fueron dominantes durante casi todo el año, excepto en junio y julio cuando las clases de tamaño de la 10 a la 14 (22 a 31.9 cm) alcanzaron sus valores máximos, por lo que se sugiere que la clase 8 sea la mínima de cosecha. Se presentaron dos periodos con altas tasas de crecimiento: el primero en junio y julio en clases de talla mayores y el segundo en diciembre y enero en clases de talla menores. Si se consideran únicamente las plantas maduras, las cistocárpicas fueron más abundantes en los meses fríos (noviembre a abril) y las tetraspóricas en los meses cálidos (mayo a octubre). Sin embargo, debido al alto porcentaje de plantas inmaduras, se plantea la necesidad de desarrollar un método para determinar la característica haploide o diploide de esta alga.

Palabras clave: *Chondracanthus canaliculatus*, talla, fenología reproductiva.

ABSTRACT

An intertidal population of *Chondracanthus canaliculatus* (Harvey) Guiry, a commercial carrageenophyte, was studied monthly from February 1993 to February 1994 on the northwestern coast of Baja California, Mexico. The thallus size (measured as maximum frond length) and the presence of

cystocarps and tetrasporangial sori were determined for each sample of 450 thalli randomly collected at monthly intervals. The maximum average thallus size of 25.02 cm was recorded in June and the minimum average size of 11.22 cm was recorded in October. Size classes 4 to 8 (10 to 19.9 cm) were dominant throughout the year, except in June and July when size classes 10 to 14 (22 to 31.9 cm) reached their greatest values. We therefore propose class 8 as the minimum harvest size. There were two periods with high growth rates: the first in June and July in the larger size classes and the second in December and January in the smaller size classes. Cystocarpic thalli were more abundant in colder months (November to April) and tetrasporic thalli in warmer months (May to October). There is a high percentage of immature plants, so it is necessary to develop a method to determine the haploid or diploid characteristics of this alga.

Key words: *Chondracanthus canaliculatus*, size, reproductive phenology.

INTRODUCCIÓN

Chondracanthus canaliculatus (Harvey) Guiry es una alga roja de importancia económica por su contenido de carragenano. Se encuentra distribuida geográficamente en la costa del Pacífico americano, desde el sur de Oregon, en los Estados Unidos de Norteamérica, hasta Isla Magdalena, en Baja California Sur, México (Abbott y Hollenberg, 1976).

La explotación de esta especie en Baja California se inició en 1966 y está considerada entre los recursos algales de mayor importancia en la región (Molina-Martínez, 1986).

Algunos estudios en la costa de Baja California han determinado la variación estacional de su biomasa (Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1990, 1991, 1996), pero no se sabe la relación de ésta con su fenología reproductiva.

El conocimiento de los parámetros demográficos, como el crecimiento y la reproducción, es fundamental para el entendimiento de la biología poblacional de una especie. Los estudios poblacionales de esta especie deben basarse en la talla debido a que, como en el caso de otras Gigartinales como *Chondrus crispus*, no es posible medir su edad de manera indirecta (Bhattacharya, 1985).

Chondracanthus canaliculatus tiene rizoides perennes y presenta crecimiento en forma de manojos (grupos de frondas que nacen de un solo órgano de fijación). Su desarrollo varía a lo largo del año, con un periodo de crecimiento importante en primavera y verano, seguido de un proceso de decaimiento natural en otoño e invierno (Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1996).

INTRODUCTION

Chondracanthus canaliculatus (Harvey) Guiry is a commercial carrageenophyte. It grows along the Pacific coast of North America, from southern Oregon, USA, to Magdalena Island, Baja California Sur, Mexico (Abbott and Hollenberg, 1976).

The exploitation of this species in Baja California started in 1966 and it is one of the most important algal resources of this area (Molina-Martínez, 1986).

Seasonal variation of its biomass in Baja California has been documented (Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1990, 1991, 1996), but the relation between biomass and the reproductive phenology of this species is not known.

It is important to become familiar with the size and reproductive phenology of a species, in order to understand the demography of its population. Population studies of *C. canaliculatus* must be based on size, because, as with *Chondrus crispus*, it is not possible to determine its age (Bhattacharya, 1985).

Chondracanthus canaliculatus has perennial rhizoids and grows in clumps (several fronds growing from a single holdfast). It has an important growing period during spring and summer, followed by a natural decline during autumn and winter (Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1996).

Size classes can be determined from the variation of the average size of a population throughout time, and changes in the proportions of size classes can establish differences between seasons (DeWreede and Green, 1990).

Con la determinación de la talla promedio, así como la de varias clases de tamaño y el cambio de sus proporciones a lo largo del tiempo, se logran establecer diferencias entre las diferentes épocas del año (DeWreede y Green, 1990).

Se han identificado en el campo plantas de *C. canaliculatus* cistocárpicas y tetrasporofitos; en algunas ocasiones se han reportado también gametofitos masculinos (Dawson, 1961; Abbott y Hollenberg, 1976; Abbott, 1980; Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1990; López-Carrillo, 1990). La liberación de esporas ocurre durante todo el año, con máximos en verano y otoño (Abbott, 1980; Pacheco-Ruiz *et al.*, 1989; García-Lepe, en preparación). Sin embargo, no se conoce la estrategia que sigue su ciclo de vida, cuyo estudio puede basarse en la abundancia relativa de las fases isomórficas, gametofítica y tetrasporofítica (May, 1986). En California central, se ha reportado un predominio de plantas cistocárpicas de esta especie (Abbott, 1980). Sin embargo, en un estudio simultáneo en Popotla y Punta San Isidro, Baja California, se han determinado patrones distintos en el predominio de las diferentes fases reproductivas (Labastida-Woods, 1988; López-Carrillo, 1990).

Los objetivos de este estudio son determinar las diferencias en tallas promedio mensuales, analizar la estructura de clases de tamaño así como su cambio temporal y la proporción de fases reproductivas (cistocárpica, tetraspórica e inmadura-espermatangial) en la población de *C. canaliculatus* de Punta San Isidro, Baja California, México, con el fin de obtener atributos básicos sobre la demografía de esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una población de *C. canaliculatus* localizada en Punta San Isidro, en la costa del Ejido Eréndira, Baja California, a los 31°17'N y 116°25'O (fig. 1). Esta zona presenta oleaje de alta energía y fenómenos de surgencia, los cuales bañan la franja litoral con aguas frías y propocionan altas concentraciones de nutrimentos (Fernández-Mejía y Aldeco-Ramírez, 1981). El clima es templado y con frecuencia se presentan vientos fuertes y neblina. El manto de *C. canaliculatus* se localiza en la

Cystocarpic and tetrasporic thalli of *C. canaliculatus* have been identified in the field; in some cases spermatangial thalli have also been reported (Dawson, 1961; Abbot and Hollenberg, 1976; Abbott, 1980; Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1990; López-Carrillo, 1990). Spore release occurs throughout the year, with a maximum from summer to autumn (Abbott, 1980; Pacheco-Ruiz *et al.*, 1989; García-Lepe, in preparation). However, the manner in which these two phases of the life history occur in the environment has not been established; this could be studied based on their relative abundance (May, 1986). A predominance of cystocarpic thalli of *C. canaliculatus* has been reported for central California (Abbott, 1980); however, different patterns in the predominance of the two phases were observed in a simultaneous study conducted at Popotla and Punta San Isidro, Baja California (Labastida-Woods, 1988; López-Carrillo, 1990).

The objectives of this study were to determine seasonal differences in average thallus size, size class structure and the proportion of reproductive phases (cystocarpic, tetrasporic and immature-spermatangial) in the *C. canaliculatus* population at Punta San Isidro, Baja California, Mexico, to obtain some basic attributes of the demography of this species .

MATERIALS AND METHODS

This study was conducted on a *C. canaliculatus* population found at Punta San Isidro along the coast of Ejido Eréndira, Baja California, at 31°17'N and 116°25'W (fig. 1). This area has high energy waves and upwelling, so the water is cold and rich in nutrients (Fernández-Mejía and Aldeco-Ramírez, 1981). It is a temperate zone, with several foggy and windy days. The *C. canaliculatus* bed is in the middle intertidal zone, on a rocky shore with dark basaltic boulders (Ballesteros-Grijalva, 1992).

The samples were collected monthly from February 1993 to February 1994. During each sampling period, 450 fronds were randomly collected from the entire population by cutting at the base of the holdfast. The samples were

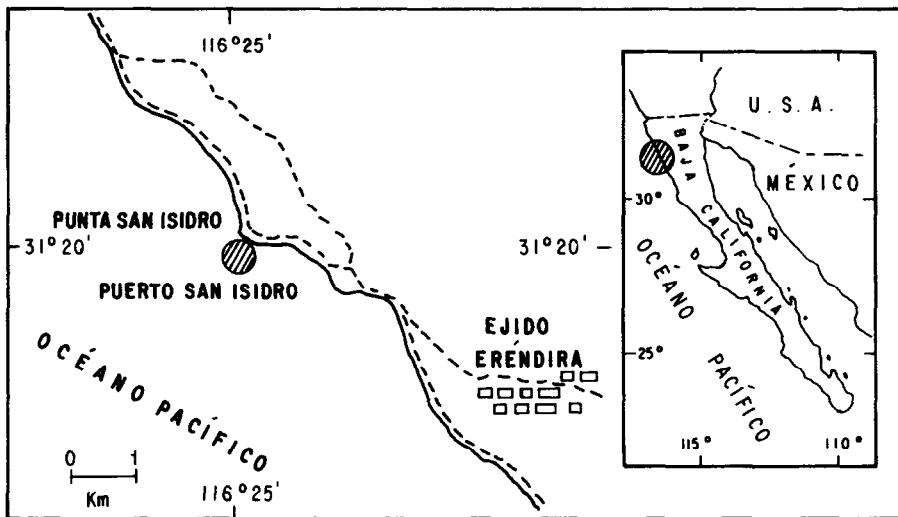


Figura 1. Área de estudio en la costa noroccidental de Baja California, México.
Figure 1. Study area on the northwest coast of Baja California, Mexico.

parte media y baja de la zona intermareal que está constituida por sustrato rocoso, con cantos rodados de composición basáltica de color oscuro (Ballesteros-Grijalva, 1992).

Los muestreos se realizaron cada mes a lo largo de un ciclo anual, de febrero de 1993 a febrero de 1994. En cada muestreo se recolectaron 450 frondas al azar, tratando de abarcar todo el manto. Los ejemplares se obtuvieron por corte desde la base del rizoide y, posteriormente, fueron transportados, en bolsas de plástico dentro de una hielera, al laboratorio donde se midió la longitud en centímetros de la fronda más larga de cada manojo. Se calculó la talla promedio para cada muestreo (expresada como promedio \pm intervalo de confianza al 95%) y se dividió cada muestra de 450 ejemplares en 22 clases de tamaño, que fueron establecidas cada 1.9 cm, iniciando con la clase 1, de 4 a 5.9 cm, y finalizando con la clase 22, de 46 a 47.9 cm, con el fin de obtener la máxima sensibilidad modal en las curvas mensuales para aplicar el método de Petersen (Ricker, 1975).

El estado reproductivo se determinó con un microscopio estereoscópico. Las muestras se

transported to the laboratory in plastic bags inside an ice box, where the length of the largest frond of each clump was measured. The average size of each sample was calculated (average \pm 95% confidence interval) and divided into 22 size classes every 1.9 cm, starting with class 1, from 4 to 5.9 cm, and finishing with class 22, from 46 to 47.9 cm. The objective was to obtain maximum modal sensibility so that the Petersen method (Ricker, 1975) could be applied.

The reproductive condition was determined with a stereoscopic microscope. Samples were identified as cystocarpic, tetrasporic or, if no reproductive structures were visible, as immature or spermatangial, which were never clearly identified.

The average monthly sizes were examined by a one-way ANOVA with *post hoc* tests to determine which sampling periods were significantly different from each other. A chi-square test was applied to establish the relative proportion of the two reproductive phases with respect to the 1:1 ratio. These analyses were made with the Statistica program, version 4.5.

definieron como cistocárpicas o tetrasporofitos, según el tipo de estructura reproductora encontrada, y cuando no se observaron éstas se definieron como inmaduras, entre las que se incluyó a los gametofitos masculinos, que nunca fueron identificados claramente.

La talla promedio mensual se sometió a un ANOVA de una vía con pruebas *post hoc* para determinar si existen, y en dónde, diferencias significativas entre cada uno de los muestreos. Para determinar la proporción relativa de fases reproductivas, al número de plantas cistocárpicas y tetrasporofitos de cada muestreo se aplicó una prueba de bondad de ajuste chi cuadrada con el fin de determinar su cercanía a la proporción 1:1. Estos análisis se realizaron con el paquete Statistica 4.5.

RESULTADOS

Se observó que la variación de la talla promedio, a lo largo de los 13 meses de muestreo, fue bimodal, con un pico en el periodo de primavera y principios del verano de 1993 y otro menor entre finales de otoño y principios del invierno siguiente (fig. 2). El primer máximo se presentó en junio, con 25.02 ± 0.56 cm, y el segundo en diciembre, con 19.83 ± 0.61 cm. Los mínimos se observaron en octubre, con 11.22 ± 0.23 cm, y en enero de 1994, con 16.19 ± 0.80 cm.

Los resultados del ANOVA practicado al tamaño promedio presentaron diferencias altamente significativas ($F = 209.0953$, $P = 0.00$). El análisis *post hoc* del ANOVA mostró que la talla promedio de octubre fue diferente a la de todos los demás meses y reveló la presencia de los siguientes grupos homogéneos: febrero de 1993 y enero-febrero de 1994; febrero-marzo; mayo-diciembre; abril-diciembre; junio-julio; agosto y enero-febrero de 1994; y septiembre-noviembre de 1993 (tabla 1).

Las curvas de las 22 clases de tamaño fueron desde mono hasta polimodales (figs. 3, 4). Se observan cuatro diferentes corrimientos de clase: el primero es de febrero a junio, con tasas de crecimiento en centímetros por día (k); de febrero a junio los valores de k son bajos (0.04 a 0.22) y están presentes de las clases 3 a la 10. El segundo es de junio a julio, con

RESULTS

The average monthly size variation during the 13-month sampling period was bimodal, with one peak in the spring and early summer of 1993 and a second, smaller peak in late autumn and early winter (fig. 2). The first maximum was found in June, 25.02 ± 0.56 cm, and the second in December, 19.83 ± 0.61 cm. Minimum values were found in October, 11.22 ± 0.23 cm, and in January 1994, 16.19 ± 0.8 cm.

The ANOVA results showed highly significant differences ($F = 209.0953$, $P = 0.00$). The *post hoc* analysis showed that only the October sample was different from the rest of the samples, as well as the presence of the following homogenous groups: February 1993 and January-February 1994; February-March; May-December; April-December; June-July; August and January-February 1994; September and November 1993 (table 1).

The percentage distributions of the 22 size classes were from mono- to polymodal (figs. 3, 4). There were four different movements of size classes: the first was from February to June, with growth rates in centimeters per day (k); from February to June the k values were low (0.04 to 0.22) for classes 3 to 10. The second was from June to July, with high k values (0.13 to 0.81) for size classes 10 to 20. The third was from August to November, with very low and negative growth rates (-0.7 to 0.067) for sizes 5 and 4. The fourth was from December to January 1994, with regular k values (0 to 0.22) for sizes 4 to 16. The curves of February 1993 and 1994 are very similar.

In the February to July 1993 period, growth was from 11 to 33 cm in 5 months, that is 4.4 cm/month (fig. 3). In the August 1993 to February 1994 period, growth was from 11 to 31 cm in 6 months, that is 3.3 cm/month (fig. 4). These results give an annual average of 3.9 cm/month.

The maximum growth rates in almost all size classes were observed from June to July and from December to January 1994. The lowest growth rates, with the total absence of big sizes, were observed from August to November.

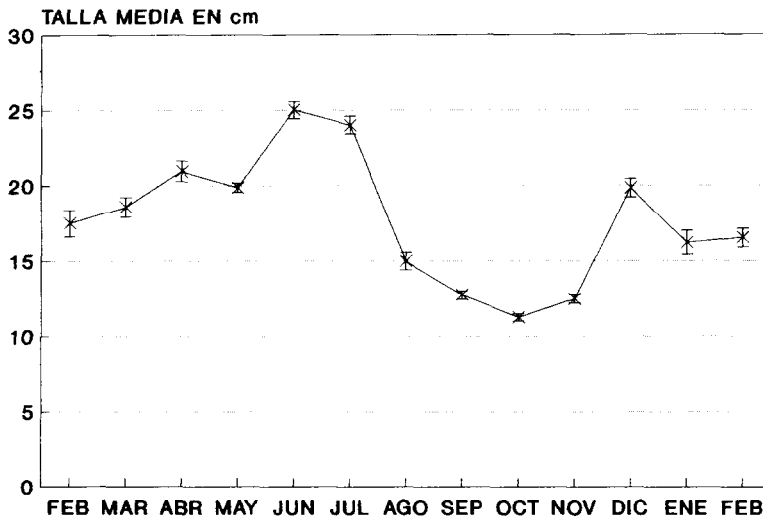


Figura 2. Talla promedio mensual ($n = 450$, IC 95%) de la población de *Chondracanthus canaliculatus*, de febrero de 1993 a febrero de 1994.

Figure 2. Mean monthly size ($n = 450$, 95% CI) of the *Chondracanthus canaliculatus* population, from February 1993 to February 1994.

Tabla 1. Resultados de la prueba *post hoc* de la ANOVA aplicada a las 450 muestras mensuales de *Chondracanthus canaliculatus*. La homogeneidad entre grupos se presenta comparando los asteriscos verticalmente ($F = 209.0953$, $P = 0.00$).

Table 1. Results of the *post hoc* test of the ANOVA for 450 monthly samples of *Chondracanthus canaliculatus*. Homogeneity among groups is observed by comparing the asterisks vertically ($F = 209.0953$, $P = 0.00$).

Mes	n	Media	-IC 95%	+IC 95%	Grupos homogéneos
Octubre 1993	450	11.229	10.993	11.465	*
Noviembre 1993	450	12.455	12.189	12.721	*
Septiembre 1993	450	12.703	12.423	12.984	*
Agosto 1993	450	14.970	14.396	15.544	*
Enero 1994	450	16.199	15.399	16.999	**
Febrero 1994	450	16.509	15.869	17.150	**
Febrero 1993	450	17.518	16.634	18.401	**
Marzo 1993	450	18.596	17.951	19.241	*
Mayo 1993	450	19.862	19.547	20.176	*
Diciembre 1993	450	19.837	19.227	20.447	**
Abril 1993	450	20.942	20.274	21.611	*
Julio 1993	450	24.013	23.400	24.627	*
Junio 1993	450	25.024	24.462	25.585	*

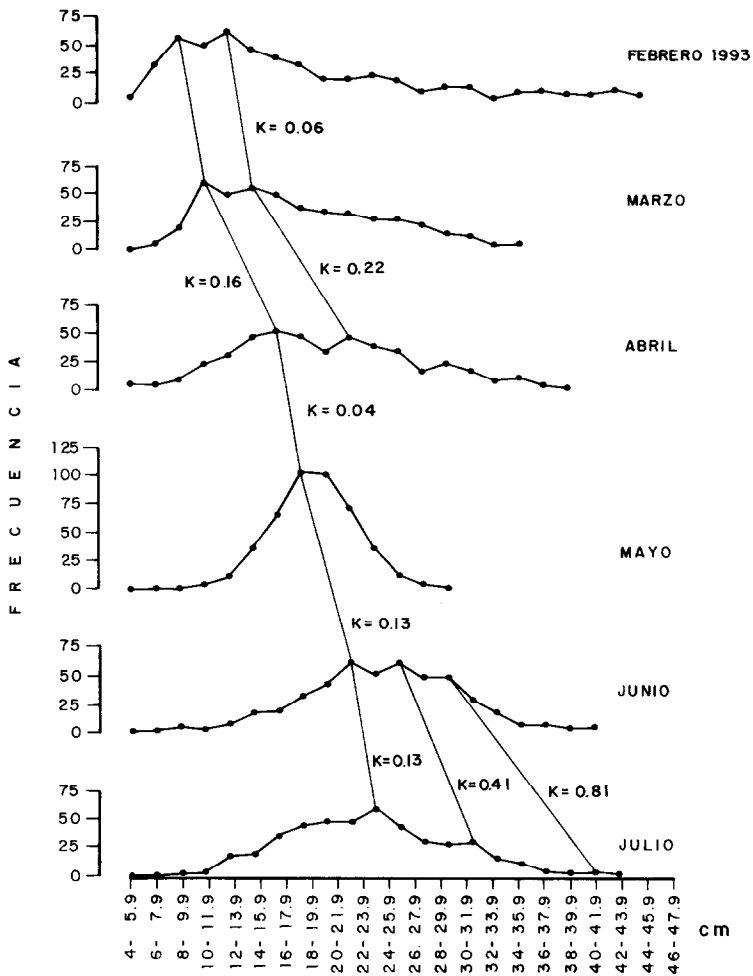


Figura 3. Frecuencia de las clases de tamaño 1 a la 22 de la población de *Chondracanthus canaliculatus*, con la aplicación del método de Petersen (Ricker, 1975), durante el periodo de febrero a julio de 1993 (k = tasa de crecimiento en centímetros por día).

Figure 3. Frequency of size classes 1 to 22 of the *Chondracanthus canaliculatus* population, with the Petersen method (Ricker, 1975), during the period from February to July 1993 (k = growth rate in centimeters per day).

valores de k altos (0.13 a 0.81) y presentes en las tallas 10 a la 20. El tercero se presenta de agosto a noviembre, con tasas de crecimiento muy bajas e inclusive negativas (-0.7 a 0.067) en las tallas 5 y 4. El cuarto va de diciembre a enero de 1994, con tasas intermedias (0 a 0.22) de las tallas 4 a la 16. Febrero de 1993 y febrero de 1994 son prácticamente iguales.

The immature phase (including spermatangial thalli) dominated the population in February, March, April, August and December 1993, and February 1994, with maximums of 67.1% in February 1993 and 70.9% in February 1994 (fig. 5). Tetrasporic thalli dominated from May to October, except in August, with a maximum in October of 53.6%, and cystocarpic

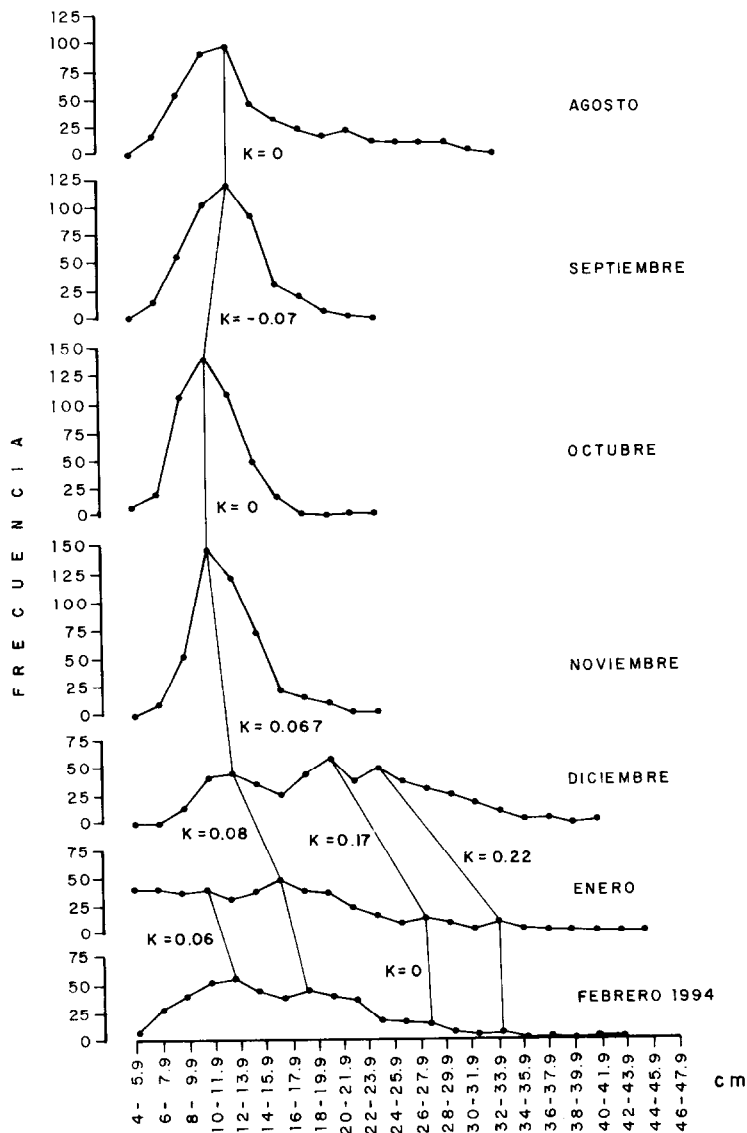


Figura 4. Frecuencia de las clases de tamaño 1 a la 22 de la población de *Chondracanthus canaliculatus*, con la aplicación del método de Petersen (Ricker, 1975), durante el periodo de agosto de 1993 a febrero de 1994 (k = tasa de crecimiento en centímetros por día).

Figura 4. Frequency of size classes 1 to 22 of the *Chondracanthus canaliculatus* population, with the Petersen method (Ricker, 1975), during the period August 1993 to February 1994 (k = growth rate in centimeters per day).

En el periodo de febrero a julio de 1993 se observa un crecimiento de 11 a 33 cm promedio en 5 meses, o sea 4.4 cm/mes (fig. 3). En el periodo de agosto de 1993 a febrero de 1994, el crecimiento fue de 11 a 31 cm en 6 meses, o sea 3.3 cm/mes (fig. 4). Esto da un promedio anual de crecimiento de 3.9 cm/mes.

Los máximos crecimientos se presentaron de junio a julio y de diciembre a enero de 1994, con la presencia en ambos periodos de la mayor parte de las clases. Los menores crecimientos se presentaron desde agosto hasta noviembre, con la ausencia total de plantas de tallas grandes.

En invierno y principios de primavera y en el mes de agosto predominó la fase inmadura, con máximos de 67.1 y 70.9% de la población en los meses de febrero de ambos años, respectivamente (fig. 5). Los talos tetrasporofíticos predominaron de mayo a octubre, a excepción de agosto, con un máximo en octubre de 53.6%, y los talos cistocárpicos sólo en noviembre, con un valor máximo de 51.8%. Comparando únicamente los talos fértiles, se observó un mayor porcentaje de plantas con cistocarpos desde febrero hasta abril y de noviembre a febrero de 1994, mientras que la fase tetraspórica predominó de mayo a octubre (fig. 5).

La prueba de bondad de ajuste χ^2 cuadrada muestra que, en la mayor parte de los muestreos, las proporciones de las dos fases reproductivas analizadas fueron significativamente diferentes de 1:1. Los casos en que se demostró tener esta proporción fueron solamente abril, julio y diciembre de 1993 y febrero de 1994 (tabla 2).

DISCUSIÓN

La talla promedio de la población tuvo una distribución bimodal, característica de las poblaciones no cosechadas (Ang *et al.*, 1996), con la presencia de dos periodos de crecimiento máximo: el primero a principios de verano y el segundo a finales de otoño. Esto se relaciona directamente con los valores de biomasa máximos que se han encontrado en esta misma zona, en la primavera de 1986 y en el otoño de 1986, 1988 y 1989 (Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1990, 1996).

thalli only in November, with a maximum value of 51.8%. Comparing only cystocarpic and tetrasporic thalli, the former dominated from February to April and from November to February 1994, whereas the latter dominated from May to October (fig. 5).

The chi-square test showed that the 1:1 ratio between cystocarpic and tetrasporic plants was only found in the April, July and December 1993 and February 1994 samples (table 2).

DISCUSSION

The average size of individual thalli of the population had a bimodal distribution, which is characteristic of an unharvested population (Ang *et al.*, 1996), with two periods of maximum growth, the first in early summer and the second at the end of autumn. This is similar to maximum biomass values that have been found for populations of this species in the spring of 1986 and autumn of 1986, 1988 and 1989 (Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1990, 1996).

Thalli of *C. canaliculatus* were present throughout the study period, with the smallest average size of 11.22 cm in October. It has been reported in other studies of the same population, however, that the thallus almost completely disappears during the winter months (Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1990, 1996). Therefore, it can be deduced that this species does not present the same pattern from year to year, especially in winter.

The low k values of size classes 3 to 10 (k from 0.06 to 0.22) from February to April show a low-growth period; however, growth increases (k from 0.13 to 0.81) from May to July. This may be because the environmental conditions in the first three sampling months, such as short days and low temperatures, are less favorable for photosynthesis (Murray and Horn, 1989). On the other hand, the May-July period has longer days and more favorable water temperatures (Littler *et al.*, 1991; Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1996).

The k values are low and even negative from August to November, maybe because of the low recruitment (García-Lepe, 1995) or the natural decay of the apical parts of the

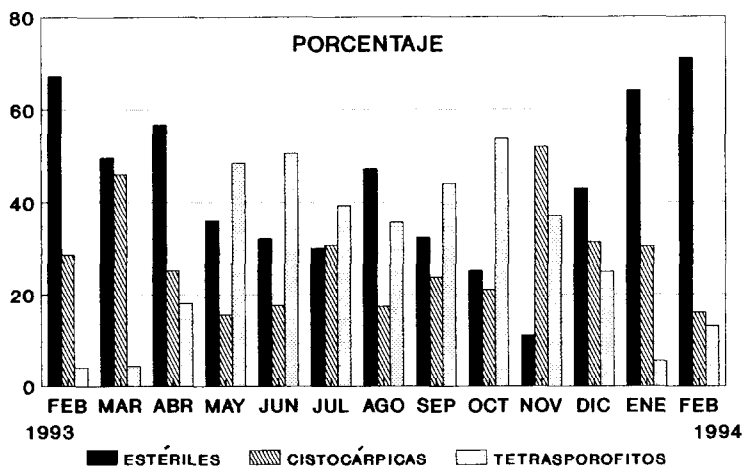


Figura 5. Porcentaje de fases reproductivas de *Chondracanthus canaliculatus* de febrero de 1993 a febrero de 1994.

Figure 5. Percentage of reproductive phases of *Chondracanthus canaliculatus* from February 1993 to February 1994.

Durante el periodo de estudio se observó el talo de *C. canaliculatus* siempre presente, con la menor talla promedio (11.22 cm) en octubre. Sin embargo, en otros estudios realizados en esta misma población, se ha reportado la desaparición casi total del talo en los meses de invierno (Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1990, 1996), por lo que se deduce que esta especie presenta fluctuaciones en su patrón de permanencia, particularmente en el invierno.

Los valores bajos de k de las clases de tamaño de la 3 a la 10 (k de 0.06 a 0.22) en los meses de febrero a abril indican una etapa de bajo crecimiento; sin embargo, de mayo a julio el crecimiento se dispara (k de 0.13 a 0.81). Esto puede ser debido a que en los primeros tres muestreos las condiciones ambientales, como la duración del día y temperatura del agua, son menos favorables para la fotosíntesis (Murray y Horn, 1989). Por otro lado, en el periodo de mayo a julio la duración del día se incrementa y las condiciones de temperatura del agua son más favorables (Littler *et al.*, 1991; Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1996).

De agosto a noviembre los valores de k llegan a ser negativos, por un lado debido a un bajo reclutamiento (García-Lepe, 1995) y, por

plants, resulting in shorter plants. Gómez and Westermeier (1991) indicate that the size structure of *Mazzaella laminarioides* (Bory) Frederiq is determined by the loss of the largest fronds, mainly in autumn and winter, which can be attributed to environmental factors. The results of this study showed a similar tendency for *C. canaliculatus*, with a greater percentage of small classes and few or no large classes during autumn.

Almost all size classes were found from December to January, with a predominance of the small ones; however, the growth rates (k from 0.08 to 0.22) are relevant if we consider that it is the end of autumn and beginning of winter. This "high" growth occurs in plants of a smaller size than those of summer, possibly because the environmental conditions are less favorable than those present during summer, such as high wave energy (Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1996).

The annual predominance of plants from size classes 4 to 8 (10 to 19.9 cm) can be established, except in June and July, when classes 10 to 15 (22 to 33.9 cm) dominated. Class 8 (18 to 19.9 cm) can therefore be established as the minimum harvest size and, when

Tabla 2. Resultados de la prueba de bondad de ajuste chi cuadrada (χ^2) para plantas cistocárpicas (C) y tetraspóricas (T) recolectadas a lo largo del año. Valor crítico de χ^2 ($\alpha = 0.05$) = 3.84; NS = valores que resultaron no significativamente diferentes de la proporción 1:1.

Table 2. Results from the chi-square test of goodness of fit (χ^2) for cystocarpic (C) and tetrasporic (T) plants collected throughout the year. Critical value ($\alpha = 0.05$) = 3.84; NS = values that were not significantly different to the 1:1 ratio.

Muestreo	Fase	Frecuencia observada	Frecuencia esperada	χ^2
Febrero	C	129	74	40.878
	T	19	74	40.878
Marzo	C	207	114	75.868
	T	20	114	77.509
Abril	C	114	98	2.612 NS
	T	81	98	2.949 NS
Mayo	C	70	144	38.028
	T	218	144	38.028
Junio	C	79	153	35.791
	T	227	153	35.791
Julio	C	138	158	2.532 NS
	T	177	158	2.285 NS
Agosto	C	78	119	14.126
	T	160	119	14.126
Septiembre	C	107	153	13.830
	T	198	153	13.235
Octubre	C	95	169	32.402
	T	241	169	30.675
Noviembre	C	233	200	5.445
	T	167	200	5.445
Diciembre	C	141	127	1.543 NS
	T	112	127	1.772 NS
Enero	C	137	81	38.716
	T	25	81	38.716
Febrero	C	72	66	0.545 NS
	T	59	66	0.742 NS

otro, al decaimiento natural de las plantas en sus partes apicales, lo que genera una inversión de plantas mayores hacia tallas menores. Gómez y Westermeier (1991) indican que la estructura de tallas de *Mazzaella laminarioides* (Bory) Frederiq está determinada por la pérdida de las frondas más grandes, principalmente durante el otoño e invierno; estos autores lo atribuyen a factores ambientales. Los resultados de este estudio permiten establecer una tendencia similar para *C. canaliculatus*, con mayor porcentaje de clases menores y la escasez o ausencia total de las clases mayores durante el otoño.

De diciembre a enero se tiene la presencia de la mayor parte de las tallas, con predominio de las menores; sin embargo, llaman la atención las tasas de crecimiento (k de 0.08 a 0.22), considerando que se trata del final del otoño y principios de invierno. Este crecimiento "alto" se presenta en plantas de tallas menores a las del verano, debido probablemente a la presencia de condiciones ambientales menos favorables que las que se presentaron durante el verano, como la alta energía del oleaje (Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1996).

Se establece para esta población la dominancia anual de plantas de las clases de tamaño 4 a 8 (10 a 19.9 cm), a excepción de los meses de junio y julio, cuando se impusieron las clases 10 a 15 (22 a 33.9 cm). Por tanto, se puede establecer a la clase 8 (18 a 19.9 cm) como la mínima de cosecha, en la inteligencia de que la predominancia de clases menores demanda un escape en el tiempo que permita el crecimiento para el paso natural a la clase 8.

El promedio de crecimiento anual de 3.9 cm/mes determinado en este estudio permite establecer un tiempo de recuperación de esta especie, después de la cosecha, de 120 días, si se considera que los cosecheros dejan en el sustrato alrededor de 4 cm de la planta cuando la podan.

Las fases reproductivas observadas de *C. canaliculatus* en el presente trabajo se presentaron durante todo el año. Si se consideran únicamente las plantas fértiles, se observa una proporción de 1:1 solamente en los meses de abril, julio y diciembre de 1993 y febrero de 1994, por lo que se puede concluir que la proporción de fases varió durante la mayor parte

there is a predominance of smaller classes, harvesting must stop so that the plants can pass in a natural way to class 8.

From the average annual growth of 3.9 cm/month determined in this study, it is possible to establish a recovery time for this species, after harvest, of 120 days, if the harvesters leave about 4 cm of the plant in the ground when they prune it.

Reproductive phases of *C. canaliculatus* were present throughout the study period. The 1:1 ratio between reproductive plants was only found in April, July and December 1993 and February 1994. We can thus conclude that the phase structure changed throughout the year and that there was no drastic decrease in any phase during the study period. With respect to water temperature (Ballesteros-Grijalva, 1996), a predominance of cystocarpic thalli occurred in colder months, from February to April and from November to the next February, whereas a greater proportion of tetrasporic thalli occurred during warmer months, from May to October. These results agree with those reported by López-Carrillo (1990) in a study on *C. canaliculatus* from the same area during 1988 and 1989. The same trend was reported for this alga in central California (Abbott, 1980). Another characteristic was that the proportion of cystocarpic plants was greater than that of the tetrasporic plants throughout the study period. It has been proven that tetrasporic plants change more than cystocarpic plants, because they present drastic decreases in biomass and density during certain times of the year (Abbott, 1980; Hannach and Santelices, 1985; López-Carrillo, 1990). However, this was not observed in this *C. canaliculatus* population.

The *C. canaliculatus* population at Punta San Isidro is found in the central part of its geographical range and can thus be assumed to be growing under optimum conditions. The results presented differ from the hypothesis of DeWreede and Green (1990), which states that seasonal variation in life history phases occurs only at the geographical limits of a species. Studies of *C. canaliculatus*, both in central California and Baja California, show a very high occurrence of immature plants. It is

del año y ninguna de las dos fases disminuyó drásticamente durante el periodo de estudio. Relacionando la temperatura del agua de mar (Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1996) con las fases reproductoras, se observó un predominio de plantas con cistocarpos en los meses fríos, de febrero a abril y de noviembre al siguiente febrero, mientras que los tetrasporofitos se presentaron en mayor proporción en los meses más cálidos, de mayo a octubre. Estos resultados concuerdan con lo observado para *C. canaliculatus* por López-Carrillo (1990) en esta misma zona durante un periodo anual de 1988 a 1989 y por Abbott (1980) en California central. Otra característica fue que las proporciones de plantas con cistocarpos superaron a los tetrasporofitos de manera global en el periodo de estudio. Por otra parte, se ha demostrado que los tetrasporofitos fluctúan más que las plantas con cistocarpos, ya que la biomasa o densidad de los primeros, en muchas especies, disminuye drásticamente en ciertas épocas del año (Abbott, 1980; Hannach y Santelices, 1985; López-Carrillo, 1990). Sin embargo, este caso no se presentó en esta población de *C. canaliculatus*.

Si se considera que la población de *C. canaliculatus* de Punta San Isidro se encuentra en la parte central de su distribución geográfica, se puede pensar que se desarrolla dentro de condiciones óptimas. Sin embargo, aparentemente presenta una variación estacional pronunciada de fases fértiles, lo que va en contra de la hipótesis planteada por DeWreede y Green (1990), en el sentido de que sólo en los límites geográficos de las especies se presenta este rango amplio de variación. Debe puntualizarse también que en los estudios de esta especie, tanto en California como en Baja California, la presencia de plantas inmaduras ha sido muy alta. Por ello, es sumamente relevante encontrar la forma de determinar la característica haploide o diploide del material estéril, para poder validar la presencia de esta variación estacional. El método del resorcinol (Shaughnessy y DeWreede, 1991) no es aplicable a esta especie debido a que presenta en sus talos cistocárpicos una mezcla de varios tipos de carragenanos (Durazo-Beltrán, en preparación).

therefore important to find a way to determine the haploid or diploid characteristics of this sterile matter, in order to validate this seasonal variation. The resorcinol method (Shaughnessy and DeWreede, 1991) is not effective for this species, because of the presence of different types of carrageenans on its cystocarpic thalli (Durazo-Beltrán, in preparation).

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to the Universidad Autónoma de Baja California, the Instituto de Investigaciones Oceanológicas and the Facultad de Ciencias Marinas for the financial support of this study.

English translation by the authors.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Autónoma de Baja California el haber financiado el desarrollo de esta investigación a través del Instituto de Investigaciones Oceanológicas y de la Facultad de Ciencias Marinas.

REFERENCIAS

- Abbott, I.A. (1980). Some field and laboratory studies on colloid-producing red algae in central California. *Aquat. Bot.*, 8: 255-266.
- Abbott, I.A. and Hollenberg, G.J. (1976). *Marine Algae of California*. Stanford University Press, Stanford, California, 518 pp.
- Ang, P., Sharp, G. and Semple, R. (1996). Comparison of the structure of the brown alga *Ascophyllum nodosum* population in sites with different harvesting histories. *Hydrobiologia*, 326/327: 179-184.
- Ballesteros-Grijalva, G. (1992). *Ecología de Gigartina canaliculata* Harvey en Baja California, México. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México, 49 pp.
- Ballesteros-Grijalva, G., Labastida-Woods, J.U. y Durazo-Beltrán, E. (1990). Abundancia de *Gigartina canaliculata* Harvey en Ejido

- Eréndira y Popotla, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 16(1): 23-34.
- Ballesteros-Grijalva, G., Chauvet-Allard, G. y Durazo-Beltrán, E. (1991). Estimación de la abundancia de *Gigartina canaliculata* Harvey en Bahía San Quintín, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 17(2): 99-108.
- Ballesteros-Grijalva, G., Zertuche-González, J.A. y García-Lepe, M.G. (1996). Variación estacional de biomasa de *Chondracanthus canaliculatus* (Rhodophyta, Gigartinales) asociada con factores ambientales, a través de un análisis de componentes principales. *Ciencias Marinas*, 22(4): 459-467.
- Bhattacharya, D. (1985). The demography of fronds of *Chondrus crispus* Stackhouse. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 91: 217-231.
- Dawson, E.Y. (1961). Marine red algae of Pacific Mexico. Part 4. Gigartinales. *Pacific Naturalist*, 2(5-6): 266 pp.
- DeWreede, R.E. and Green, L.G. (1990). Patterns of gametophyte dominance of *Iridaea splendens* (Rhodophyta) in Vancouver Harbour, Vancouver, British Columbia, Canada. *J. Appl. Phycol.*, 2: 27-34.
- Fernández-Mejía, E. y Aldeco-Ramírez, J. (1981). Estudio de algunos parámetros hidrológicos en una zona costera del Ejido Eréndira, Baja California. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México, 45 pp.
- García-Lepe, M.G. (1995). Estrategias de permanencia y estudios poblacionales del alga roja *Gigartina canaliculata* Harvey en Baja California, México. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México, 34 pp.
- Gómez, I.M. and Westermeier, R.C. (1991). Frond regrowth from basal disc in *Iridaea aminarioides* (Rhodophyta, Gigartinales) at Mehuin, southern Chile. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 73(1): 83-91.
- Hannach, G. and Santelices, B. (1985). Ecological phases of two species of *Iridaea* (Rhodophyta: Gigartinales). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 22: 291-303.
- Labastida-Woods, J.U. (1988). Estimación de abundancia y observaciones de las fases reproductoras de *Gigartina canaliculata* Harv. (Rhodophyta, Gigartinales), en el Ejido Eréndira y Popotla, Baja California. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México, 45 pp.
- Littler, M.M., Littler, D.S., Murray, S.N. and Seapy, R.R. (1991). Southern California rocky intertidal ecosystems. In: A.C. Mathieson and P.H. Nienhuis (eds.), *Intertidal and Littoral Ecosystems. Ecosystems of the World 24*. Elsevier, New York, pp. 273-296.
- López-Carrillo, M. (1990). Fenología reproductiva de *Gigartina canaliculata* Harvey (Gigartinales, Rhodophyta) durante un ciclo anual en el Ejido Eréndira y Popotla, Baja California, México. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México, 28 pp.
- May, G. (1986). Life history variations in a predominantly gametophytic population of *Iridaea cordata* (Gigartinaceae, Rhodophyta). *J. Phycol.*, 22(4): 448-455.
- Molina-Martínez, J. (1986). Notas sobre tres especies de algas marinas: *Macrocystis pyrifera*, *Gelidium robustum* y *Gigartina canaliculata* de interés comercial en la costa noroccidental de Baja California, México. En: *Contribuciones biológicas y tecnológicas pesqueras*. Secretaría de Pesca, Documento Técnico Informativo, México, 3: 16-39.
- Murray, S.N. and Horn, M.H. (1989). Seasonal dynamics of macrophyte populations from an eastern North Pacific rocky-intertidal habitat. *Bot. Mar.*, 32: 457-473.
- Pacheco-Ruiz, I., García-Esquivel, Z. and Aguilar-Rosas, L.E. (1989). Spore discharge in the carrageenophyte *Gigartina canaliculata* Harvey (Rhodophyta, Gigartinales). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 126: 293-299.
- Ricker, W.E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Canada*, 191 pp.
- Shaughnessy, F.J. and DeWreede, R.E. (1991). Reliability of the resorcinol method for identifying isomorphic phases in Gigartinaceae (Rhodophyta). *J. Appl. Phycol.*, 3: 121-127.