

**ESTRUCTURA DE TALLAS Y REPRODUCCIÓN DE *Gelidium robustum*
(RHODOPHYTA) EN LA PARTE CENTRAL DE LA PENÍNSULA DE
BAJA CALIFORNIA, MÉXICO**

**SIZE STRUCTURE AND REPRODUCTION OF *Gelidium robustum*
(RHODOPHYTA) IN THE CENTRAL PART OF THE BAJA CALIFORNIA
PENINSULA, MEXICO**

Julio Espinoza-Avalos

El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Chetumal
Apartado postal 424
Chetumal, Quintana Roo, 77000, México

Recibido en noviembre de 1995; aceptado en julio de 1996

RESUMEN

Se estudió la estructura de tallas y reproducción de *Gelidium robustum* en Punta San Hipólito, a 6 m de profundidad, y en Isla Natividad, Baja California Sur, México, a 8 y 15 m de profundidad. La reproducción vegetativa fue mayor y la talla promedio fue menor en los dos sitios someros que a 15 m en Isla Natividad. La reproducción esporofítica se presentó a lo largo del año y se incrementó directamente con la talla de frondas. Existió una dominancia numérica de las frondas tetraspóricas con respecto a las carpospóricas. Las frondas carpospóricas se presentaron en menor número a 15 m de profundidad que a 6 y 8 m de profundidad y fueron de menor talla que las tetraspóricas. La talla mínima de reproducción de las frondas carpospóricas también fue menor que las tetraspóricas. La talla mínima de reproducción de las frondas tetraspóricas fue menor en Punta San Hipólito (7.4 cm), seguida por las de Isla Natividad a 8 m (16.5 cm) y 15 m (22.8 cm) de profundidad. Se considera muy importante no cortar los rizoides de una planta junto con las frondas juveniles asociadas (menores de 10 cm), para que promuevan la recuperación del manto después de cosecharlo.

Palabras clave: *Gelidium*, talla, carpospórica, tetraspórica, tamaño mínimo de reproducción, México.

ABSTRACT

The size structure and reproduction of *Gelidium robustum* were studied at Punta San Hipólito at 6 m depth, and at Isla Natividad at 8 and 15 m depth. Both sites are located on the Pacific coast of Baja California Sur, Mexico. Vegetative reproduction was greater, but average frond size was smaller at the two shallow sites than at 15 m. The degree of reproduction by sporophytes was directly related to frond size and occurred year-round. Tetrasporic fronds outnumbered carposporic ones. Carposporic fronds were less abundant at 15 m depth than at 6 and 8 m, and were shorter, on average, than tetrasporic fronds at all sites. The minimum reproductive size was also smaller for carposporic fronds than for tetrasporic fronds. The minimum reproductive size of tetrasporic fronds was smaller at Punta San Hipólito (7.4 cm), followed by Isla Natividad 8-m fronds (16.5 cm) and Isla Natividad 15-m fronds (22.8 cm). It is thought that maintaining the rhizoidal part of a plant with the associated juvenile fronds (less than 10 cm in length) is very important for the recovery of a bed after harvesting.

Key words: *Gelidium*, size, carposporic, tetrasporic, minimum reproductive size, Mexico.

INTRODUCCIÓN

México aporta de 7 a 10% de la producción mundial de *Gelidium* (McHugh, 1991; Zertuche-González, 1993). *Gelidium robustum* (Gardner) Hollenberg y Abbott se cosecha en la costa Pacífica de la península de Baja California y es la principal agarofita explotable en México.

Estudios previos sobre *G. robustum* en México incluyen los aspectos siguientes: distribución, hábitat y volúmenes de cosecha (Guzmán-del Prío *et al.*, 1986; Molina-Martínez, 1986; Casas-Valdez y Fajardo-León, 1990); crecimiento, producción, dispersión, crecimiento después de cortes y reproducción (Guzmán-del Prío y De la Campa-de Guzmán, 1969, 1979; Guzmán-del Prío *et al.*, 1972; Rodríguez-Garza y Espinoza-Ávalos, 1987); rendimiento de agar y fuerza de gel (Espinoza y Rodríguez, 1992). La mayoría de estos estudios se han realizado principalmente en la parte norte de Baja California.

En este estudio se analiza la estructura de tallas, además de la reproducción vegetativa y esporofítica de *G. robustum* en dos sitios ubicados en la parte sur de su distribución latitudinal. *Gelidium robustum* se cosecha en uno de los sitios, mientras que en el otro no. El objetivo de este estudio fue aportar información estacional sobre *G. robustum* de una área hasta ahora poco estudiada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los dos sitios de estudio se localizan en la parte central de la costa Pacífica de la península de Baja California, México (fig. 1). Isla Natividad es un campo pesquero donde se cosecha *G. robustum*, mientras que en Punta San Hipólito esta agarofita no se cosecha por existir poca biomasa.

En Isla Natividad la recolección se efectuó a 8 y 15 m de profundidad. Las condiciones climáticas y oceanográficas severas no permitieron que cada muestreo se efectuara en los mismos mantos algales, denominados "piedras sargace-ras" por los pescadores. Sin embargo, las muestras siempre procedieron de la parte noroeste de

INTRODUCTION

Mexico contributes 7 to 10% of the world-wide production of *Gelidium* (McHugh, 1991; Zertuche-González, 1993). *Gelidium robustum* (Gardner) Hollenberg and Abbott, which is harvested on the Pacific coast of the Baja California peninsula, is the main exploitable agarophyte in Mexico.

Previous studies concerning *G. robustum* from Mexico include the following aspects: distribution, habitat and harvesting volumes (Guzmán-del Prío *et al.*, 1986; Molina-Martínez, 1986; Casas-Valdez and Fajardo-León, 1990); growth rate, production, dispersion, re-growth after cutting and reproduction (Guzmán-del Prío and De la Campa-de Guzmán, 1969, 1979; Guzmán-del Prío *et al.*, 1972; Rodríguez-Garza and Espinoza-Ávalos, 1987); agar yield and gel strength (Espinoza and Rodríguez, 1992). The majority of these studies have been carried out mainly in the northern part of the Baja California peninsula.

The size structure as well as the vegetative and sporophytic reproduction of *G. robustum* from two sites located in the southern part of its distribution are analyzed in this study. *Gelidium robustum* is harvested at one site, but not at the other. The objective of this study was to provide seasonal data on *G. robustum* from a poorly known area.

MATERIALS AND METHODS

The two study sites are located in the central part of the Pacific coast of the Baja California peninsula, Mexico (fig. 1). Isla Natividad supports a fishing village where *G. robustum* is harvested. This agarophyte is not harvested at Punta San Hipólito because of insufficient biomass.

At Isla Natividad, there are several algal beds, called *piedras sargaceras* by local fishermen. While all samples were obtained from the northwest side of the island, at 8 and 15 m depth, unfavorable weather and severe oceanographic conditions did not allow for complete sampling at any one algal bed. The dates and

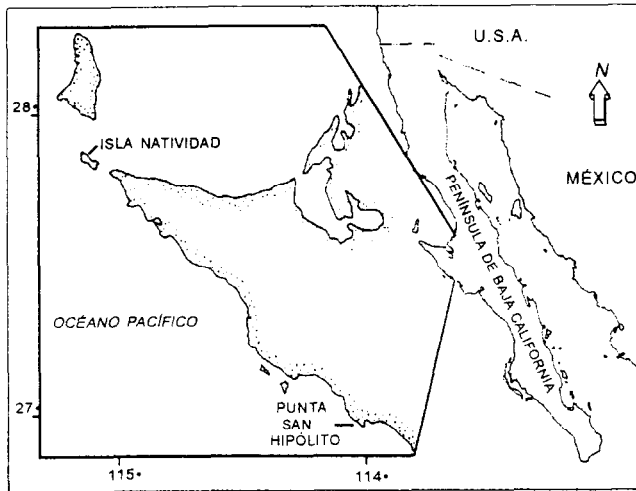


Figura 1. Sitios de estudio en la costa occidental de la península de Baja California, México.
Figure 1. Study sites on the west coast of the Baja California peninsula, Mexico.

la isla. Las fechas y "piedras sargaceras" recolectadas fueron, en 1986: 22-23 de abril, Piedra Amarilla; 11-12 de junio, Punta de la Isla y Cabo Pruneda; 8 de julio, Babenchos y El Placas; 4 de diciembre, Babenchos y Piedra Amarilla. En 1987: 13 de febrero, Piedra Plana y Piedra Dulce.

En Punta San Hipólito las muestras fueron recolectadas del manto Punta Lobos solo a 6 m, ya que a mayor profundidad existe arena y no rocas donde se adhieran las plantas. Las fechas de muestreo fueron: 25 de abril, 14 de junio, 11 de julio, 5 de diciembre de 1986; y 15 de febrero de 1987.

En cada fecha se recolectaron todas las plantas encontradas en tres cuadrantes de 20×20 cm, colocados al azar dentro de "parches" de *G. robustum*. Debido al crecimiento clonal de esta especie, a través de ejes rastreros, el trabajo se refiere a frondas y no a individuos. Después de remover las frondas, éstas se secaron al sol y fueron transportadas al laboratorio. Allí, se rehidrataron en agua dulce y se midió la longitud de un total de 14,637 frondas, con una regla graduada cada 0.1 cm. La fase reproductiva se determinó visualmente en tres categorías: tetrasporofítica, carposporofítica (frondas con cistocarpos) e indeterminada, la cual incluyó

piedras sargaceras sampled were, in 1986: April 22-23, Piedra Amarilla; June 11-12, Punta de la Isla and Cabo Pruneda; July 8, Babenchos and El Placas; December 4, Babenchos and Piedra Amarilla. In 1987: February 13, Piedra Plana and Piedra Dulce.

Punta San Hipólito samples were collected from the Punta Lobos bed, only at 6 m depth, since no rocks were visible for plant attachment at greater depths. Sampling dates were: April 25, June 14, July 11, December 5, 1986; and February 15, 1987.

All plants located within three 20×20 cm quadrants were collected on each sampling date. The quadrants were randomly placed within *G. robustum* patches. Because this species spreads by creeping axes to form clones, fronds rather than individual plants were measured. Following removal, the fronds were sun-dried and transported to the laboratory. There, they were re-hydrated in fresh water and the length of 14,637 fronds was measured with a ruler to the nearest 0.1 cm. The reproductive phase was visually assessed in three categories: tetrasporophytic, carposporophytic (fronds with cystocarps) and undetermined, which included early stages of carposporophytic and tetrasporophytic fronds and male gametophytes. A

estadios tempranos de frondas carposporofíticas y tetrasporofíticas y gametofitos masculinos. Ocasionalmente se utilizó un microscopio estereoscópico para confirmar las fases tetrasporofíticas y carposporofíticas. La talla se dividió en cinco clases: 1 (<10 cm), 2 (10.1-20.0 cm), 3 (20.1-30.0 cm), 4 (30.1-40.0 cm) y 5 (>40.0 cm). Para comparar estadísticamente la talla mínima de reproducción de frondas carpospóricas y tetraspóricas, se tomaron en cuenta las 50 frondas de menor talla y en reproducción de cada estación del año. Las pruebas de correlación, *t* de Student y análisis de varianza de una y dos vías, con los factores sitios y fechas, se efectuaron utilizando el paquete estadístico STATISTICA®.

La temperatura se midió con un termómetro, con divisiones cada 0.1°C. La irradiancia se midió con un fotómetro-radiómetro LI-COR® LI-188B, integrando lecturas por una hora e iniciando a las 11:00 horas.

RESULTADOS

La talla promedio del total de frondas de Natividad 15 m, 20.5 cm, fue mayor que la de Natividad 8 m, 13.9 cm, y ésta a su vez mayor que la de San Hipólito, 10.8 cm (ANOVA, $P < 0.001$; fig. 2).

La reproducción esporofítica se observó en todas las estaciones del año y, por lo general, menor al 30% del total de frondas. Excepto a fines de la primavera (Pf en fig. 2), este tipo de reproducción fue mayor en las frondas de San Hipólito.

La temperatura en los dos sitios de estudio fue, en general, menor en primavera y verano que en otoño e invierno (fig. 2). Las mediciones de luz registradas en Isla Natividad muestran mayor radiación solar en primavera que en verano y otoño, y mayor a 8 m que a 15 m de profundidad (tabla 1).

La talla y el porcentaje de reproducción esporofítica varió de localidad a localidad y de estación a estación del año, pero sin presentar un patrón general evidente (fig. 2). Sin embargo, algunos valores relativamente altos de talla y reproducción correspondieron con temperaturas altas (fig. 2).

La distribución de las clases de talla siguió, en general, una tendencia decreciente conforme

stereomicroscope was occasionally used to confirm the tetrasporophytic and carposporophytic phases. Size was divided into five classes: 1 (<10 cm), 2 (10.1-20.0 cm), 3 (20.1-30.0 cm), 4 (30.1-40 cm) and 5 (>40.0 cm). In order to statistically compare the minimum reproductive size of carposporic and tetrasporic fronds, 50 of the shortest fertile fronds were computed for each season. Correlation, Student's *t* tests, and one-way and two-way analyses of variance (with site and date as factors) were conducted using the statistical package STATISTICA®.

Temperature was measured to the nearest 0.1°C. Irradiance was measured with a LI-COR® LI-188B quantum/radiometer/photometer, integrating readings for one hour, starting at 11:00 hours.

RESULTS

The average size of all Natividad 15-m fronds, 20.5 cm, was greater than that of the Natividad 8-m fronds, 13.9 cm, and also greater than that of the San Hipólito fronds, 10.8 cm (ANOVA, $P < 0.001$; fig. 2).

Sporophytic reproduction was observed during all seasons and, generally, in fewer than 30% of all fronds. It was more frequent at San Hipólito than at Isla Natividad, except at the end of spring (Pf in fig. 2).

Temperature at both study sites was, in general, lower in spring and summer than in fall and winter (fig. 2). Irradiance at Isla Natividad was greater in spring than in summer and fall, and also greater at 8 m than at 15 m depth (table 1).

Size and percentage of sporophytic reproduction varied from site to site and season to season (fig. 2), but no seasonal pattern was apparent. However, some high values for size and sporophytic reproduction corresponded in time with high temperatures (fig. 2).

At all sites and in all seasons, the distribution of fronds among the size classes was inversely proportional to the size range of each class. In other words, size class 1 always included the largest number of fronds (fig. 3).

The percentage of total fronds making up size class 1 from San Hipólito and Natividad 8 m was, with two exceptions, nearly or greater than 50% at each sampling date. In contrast,

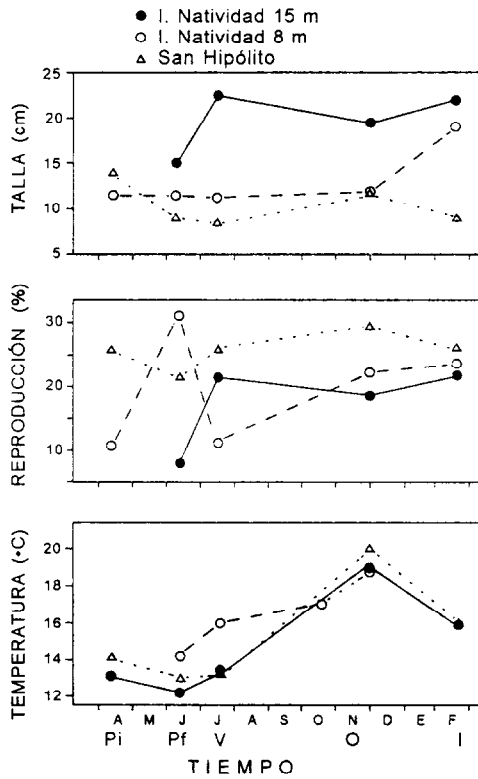


Figura 2. Talla y reproducción esporofítica (tetraspórica + carpospórica) de *Gelidium robustum* y temperatura en Punta San Hipólito, a 6 m de profundidad, e Isla Natividad, a 8 y 15 m de profundidad. Pi = inicios de la primavera, Pf = fines de la primavera, V = verano, O = otoño, I = invierno.

Figure 2. Size and sporophytic reproduction (tetrasporic + carposporic) of *Gelidium robustum* and temperature at Punta San Hipólito, at 6 m depth, and Isla Natividad, at 8 and 15 m depth. Pi = beginning of spring, Pf = end of spring, V = summer, O = fall, I = winter.

Tabla 1. Radiación solar ($\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en Isla Natividad, a 8 y 15 m de profundidad, en tres estaciones del año.

Table 1. Solar irradiance ($\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) at Isla Natividad, at 8 and 15 m depth, during spring, summer and fall.

	Primavera	Verano	Otoño
8 m	500.0	39.3	67.9
15 m	350.0	12.5	

aumentó la talla, de la clase 1 a la clase 5; esto es, existe un mayor número de frondas de talla chica (fig. 3).

La clase 1 en San Hipólito y Natividad 8 m fue (con dos excepciones) alrededor o mayor del 50%. En contraparte, la clase 1 de Natividad 15 m representó, excepto un caso, alrededor del 30% de las frondas (fig. 3). La mayor parte de las frondas de la clase 1 se originaron por medio de reproducción vegetativa. Esta clase comprende ejes erectos con poca o ninguna ramificación, unidos a un sistema de ejes rastrojos generados por frondas vecinas de mayor tamaño. De tal manera, se considera que la reproducción vegetativa de *G. robustum* de San Hipólito y Natividad 8 m es mayor que la de Natividad 15 m.

Visualmente se detectó que cuando la clase de talla 4 aumentaba en abundancia, la clase 1 disminuía (fig. 3). Esto se confirmó con un análisis de correlación, comparando las frecuencias relativas de la clase de talla 4 vs la clase 1, de todos los cuadrantes muestreados ($r = 0.94$, $P < 0.001$). Lo mismo ocurrió al comparar la clase 3 vs la clase 1 ($r = 0.94$, $P < 0.001$), y al combinar las clases 4 y 3 vs la clase 1 ($r = 0.71$, $P < 0.001$). Esto es, el porcentaje de la clase 1 aumenta al disminuir el porcentaje de las tallas mayores.

El porcentaje de frondas en reproducción esporofítica (tetraspórica + carpospórica) se incrementó al incrementarse la clase de talla (fig. 4). Las frondas carpospóricas se presentaron en menor proporción que las tetraspóricas, sin ningún patrón general claro. El porcentaje de frondas carpospóricas fue mayor en Natividad 8 m, seguido por San Hipólito y Natividad 15 m (fig. 4).

En San Hipólito y Natividad 8 m siempre hubo frondas de la clase 2 que se reprodujeron por esporas (hasta el 60% en un caso). En varias ocasiones, las frondas de la clase 1 de estos dos sitios someros se encontraron en reproducción (fig. 4). En contraparte, las frondas de la clase 1 de Natividad 15 m nunca se reprodujeron por esporas y solo raramente lo hicieron las de la clase 2 (fig. 4). En otras palabras, aparentemente las frondas de San Hipólito y Natividad 8 m se reproducían más chicas que las de Natividad 15 m.

the percentage of this size class from Natividad 15 m was around 30%, with one exception (fig. 3). Most of the fronds within size class 1 originated by vegetative reproduction. They comprise essentially unbranched erect axes joined to creeping axes initiated by neighboring fronds. Consequently, vegetative reproduction of *G. robustum* is thought to be greater at the two shallow sites than at Natividad 15 m.

In cases where size class 4 fronds increased in abundance, size class 1 fronds decreased (fig. 3). This relationship was confirmed by correlation analysis, comparing the relative frequency of size class 4 vs size class 1 fronds of all quadrants ($r = 0.94$, $P < 0.001$). The same relationship occurred when comparing size class 3 vs size class 1 fronds ($r = 0.94$, $P < 0.001$), and when combining size classes 4 and 3 vs size class 1 ($r = 0.71$, $P < 0.001$). That is, the percentage of size class 1 fronds increases when larger size classes decrease in number.

The percentage of fronds with sporophytic reproduction (tetrasporic + carposporic) increased in direct proportion to size (fig. 4). Carposporic fronds were less abundant than tetrasporic ones, without a clear general pattern. The percentage of carposporic fronds was greatest at Natividad 8 m, followed by San Hipólito and Natividad 15 m (fig. 4).

Fronds of size class 2 from San Hipólito and Natividad 8 m always exhibited sporophytic reproduction (up to 60% in one case). Fronds of size class 1 from these two shallower sites were also sporophytically reproductive on several occasions (fig. 4). In contrast, size class 1 fronds from Natividad 15 m were never sporophytically reproductive and only rarely were those in size class 2 (fig. 4). In other words, fronds from San Hipólito and Natividad 8 m apparently became sporophytically reproductive at a smaller size than the fronds from Natividad 15 m.

In order to test this hypothesis, the minimum reproductive size of carposporic vs tetrasporic fronds was compared. If differences were to occur between the two types of fronds, the carposporic fronds would be eliminated from the analysis, since their proportion with respect to tetrasporic fronds was different

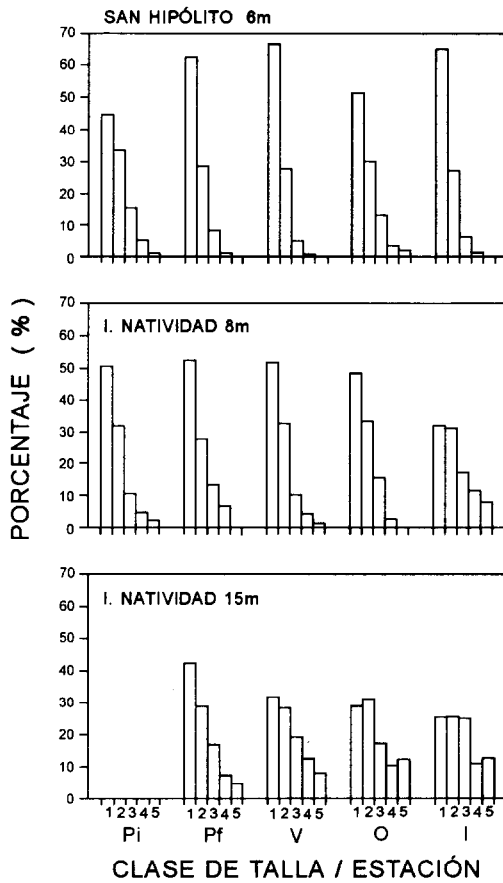


Figura 3. Estructura de tallas (1 = <10.0 cm, 2 = 10.1-20.0 cm, 3 = 20.1-30.0 cm, 4 = 30.1-40.0 cm, 5 = >40 cm) de *Gelidium robustum* en Punta San Hipólito, a 6 m de profundidad, e Isla Natividad, a 8 y 15 m de profundidad. Ver fig. 2 para mayores detalles.

Figure 3. Size structure (1 = <10.0 cm, 2 = 10.1-20.0 cm, 3 = 20.1-30.0 cm, 4 = 30.1-40.0 cm, 5 = >40 cm) of *Gelidium robustum* at Punta San Hipólito, at 6 m depth, and Isla Natividad, at 8 and 15 m depth. See fig. 2 for more details.

Para confirmar lo anterior, se comparó la talla mínima de reproducción de frondas carpospóricas vs tetraspóricas. Si hubiera diferencias entre estos dos tipos de frondas, las carpospóricas serían eliminadas del análisis puesto que su proporción con respecto a las tetraspóricas varió con el tiempo y sitio (fig. 4). Las frondas incluidas en el análisis fueron las de Natividad 8 m, combinando frondas de a fines de la primavera (Pf) e invierno (I), sitio y épocas en que las frondas carpospóricas fueron

with time (fig. 4). The fronds included in the test were those from Natividad 8 m, from the end of spring (Pf) and winter (I), the place and dates when the carposporic fronds were most abundant (fig. 4). Thus, the minimum reproductive size of carposporic fronds, 16.3 cm, was smaller than the minimum reproductive size of tetrasporic fronds, 19.7 cm ($t = -3.99$, $P < 0.001$). Consequently, the average size of carposporic fronds for the same place and dates mentioned above was also smaller, 27.9 cm,

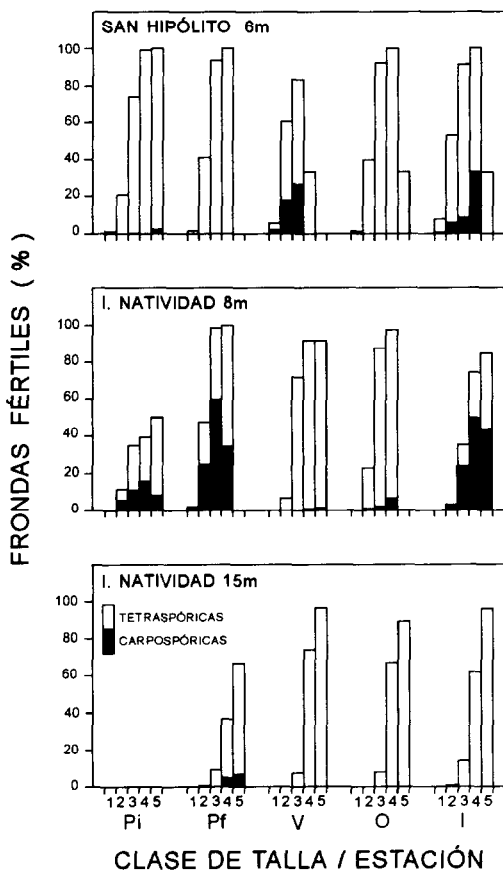


Figura 4. Porcentaje relativo de frondas esporofíticas fértiles por clase de talla (1-5) de *Gelidium robustum* en Punta San Hipólito (6 m de profundidad) e Isla Natividad (8 y 15 m). Frondas tetraspóricas (barras claras) y carpospóricas (barras oscuras). Ver fig. 2 para mayores detalles.

Figure 4. Relative percentage of sporophytic fertile fronds by size class (1-5) of *Gelidium robustum* at Punta San Hipólito (6 m depth) and Isla Natividad (8 and 15 m). Tetrasporic (clear bars) and carposporic fronds (black bars). See fig. 2 for more details.

más abundantes (fig. 4). La talla mínima de reproducción de las frondas carpospóricas, 16.3 cm, resultó ser menor que la de las frondas tetraspóricas, 19.7 cm ($t = -3.99, P < 0.001$). Consecuentemente, la talla promedio general de las frondas carpospóricas, para el mismo sitio y épocas anteriores, también fue menor, 27.9 cm, que la de las frondas tetraspóricas, 32.4 cm ($t = -4.15, P < 0.001$).

Al eliminar las frondas carpospóricas del ANOVA, se confirmó que la talla mínima de reproducción de las frondas tetraspóricas fue menor en San Hipólito, 7.4 cm, luego mayor en

than the average size of tetrasporic fronds, 32.4 cm ($t = -4.15, P < 0.001$).

When the carposporic fronds were eliminated from the ANOVA, it was confirmed that the minimum reproductive size of tetrasporic fronds was smaller at San Hipólito, 7.4 cm, followed by Natividad 8 m, 16.5 cm, and Natividad 15 m, 22.8 cm ($P < 0.001$).

DISCUSSION

Gelidium robustum growing along the central part of the Pacific coast of the Baja

las frondas de Natividad 8 m, 16.5 cm, y Natividad 15 m, 22.8 cm ($P < 0.001$).

DISCUSIÓN

Gelidium robustum de la parte central de la costa Pacífica de Baja California presentó reproducción esporofítica y vegetativa a lo largo del año, con porcentajes contrastantes pero sin un patrón estacional general (figs. 2, 3, 4). Estos resultados son similares a los obtenidos por Johnstone y Feeney (1944) para la misma especie en California, EUA.

La ausencia de estacionalidad clara de *G. robustum* en cuanto a la presencia de frondas fértiles en la parte central de la península de Baja California, es sorprendente si se toma en cuenta la considerable fluctuación que ocurre en temperatura (hasta 8°C; fig. 2), irradiancia (tabla 1) y probablemente disponibilidad de nutrientes, relacionada con la presencia de surgencias en el área de estudio, más pronunciadas en primavera y verano (Roden, 1972; Bakun y Nelson, 1977).

El número de frondas tetraspóricas de *G. robustum* fue mayor que el de las carpospóricas (fig. 4), tal como fue en California, EUA, para la misma especie (Johnstone y Feeney, 1944; Melo y Neushul, 1993). La relación de frondas tetraspóricas:carpospóricas varió a lo largo del año (de 100:0 a 1:2 en Natividad 8 m; fig. 4). En un estudio anterior realizado en el área (Rodríguez-Garza y Espinoza-Ávalos, 1987), se mostró que esta relación varió de 100:0 a 1:1. En un estudio cerca de Ensenada, Guzmán-del Prío y De la Campa-de Guzmán (1969) encontraron que la relación permaneció constante (12:1) a lo largo del año.

Una predominancia de frondas tetraspóricas es común en Gelidiales (Yamasaki y Osuga, 1960; Stewart, 1968; Oliveira y Sazima, 1973; Abbott, 1980; Santelices *et al.*, 1981; Kaliaperumal y Rao, 1982, 1985, 1986; Akatsuka, 1986; Melo y Neushul, 1993). Incluso, en algunos estudios se ha mostrado que las plantas carpospóricas no se presentan (fig. 4) (Thomas *et al.*, 1975; Fralick y Andrade, 1981; Kaliaperumal y Rao 1982; Rueness y Fredriksen, 1990).

California peninsula exhibited sporophytic and vegetative reproduction throughout the year, with varying percentages, but without a general seasonality pattern (figs. 2, 3, 4). These results are similar to those obtained by Johnstone and Feeney (1944) for the same species in California, USA.

The absence of a clear seasonality in fertility of *G. robustum* fronds in Baja California is surprising in view of the large annual fluctuations in temperature (up to 8°C; fig. 2), irradiance (table 1), and probably nutrient availability correlated with spring and summer upwelling events registered in the study area (Roden, 1972; Bakun and Nelson, 1977).

Tetrasporic fronds of *G. robustum* were more numerous than carposporic fronds (fig. 4), as in California for the same species (Johnstone and Feeney, 1944; Melo and Neushul, 1993). The ratio of tetrasporic to carposporic fronds varied throughout the year (from 100:0 to 1:2 at Natividad 8 m in winter; fig. 4). An earlier study in the same area (Rodríguez-Garza and Espinoza-Ávalos, 1987) showed that this ratio varied from bed to bed (from 100:0 to 1:1). In a study of *G. robustum* near Ensenada, Guzmán-del Prío and De la Campa-de Guzmán (1969) found that the ratio remained constant (12:1) throughout the year.

A predominance of tetrasporic fronds is common in Gelidiales (Yamasaki and Osuga, 1960; Stewart, 1968; Oliveira and Sazima, 1973; Abbott, 1980; Santelices *et al.*, 1981; Kaliaperumal and Rao, 1982, 1985, 1986; Akatsuka, 1986; Melo and Neushul, 1993). Furthermore, some studies have shown that carposporic fronds are not present (fig. 4) (Thomas *et al.*, 1975; Fralick and Andrade, 1981; Kaliaperumal and Rao 1982; Rueness and Fredriksen, 1990).

The lower percentage of carposporic fronds at Natividad 15 m compared with the two shallower sites (fig. 4), differs from the situation reported for California, where the ratio of reproductive phases was not affected by depth (Johnstone and Feeney, 1944). A lower number of carposporic fronds at greater depths has also been found for other red seaweeds (Mathieson and Burns, 1975; Craigie and Pringle, 1978;

El menor porcentaje de plantas carpospóricas que tetraspóricas en Natividad 15 m vs los dos sitios someros (fig. 4), difiere de lo encontrado para *G. robustum* en California, EUA, donde la proporción de ambas fases reproductivas no fue afectado por la profundidad (Johnstone y Feeney, 1944). Un menor número de plantas carpospóricas a mayor profundidad también ha sido reportado en otras algas rojas (Mathieson y Burns, 1975; Craigie y Pringle, 1978; Norall *et al.*, 1981), aunque lo inverso ha sido observado para *Plocamium cartilagineum* (L.) Dixon (Kain, 1986).

La disminución de la talla promedio de *G. robustum* en los dos sitios someros, de norte (13.9 cm, Natividad 8 m) a sur (10.8 cm, San Hipólito), sigue el patrón reportado por Guzmán-del Próo y De la Campa-de Guzmán (1979). A mayor profundidad (Natividad 15 m), la talla promedio aumentó significativamente (20.5 cm) por la mayor frecuencia de frondas de la clase de talla 5 (fig. 3). Una situación similar se ha reportado en *Chondrus crispus* Stackhouse (Mathieson y Burns, 1975).

La relación inversa de las clases de talla 3 y 4 vs 1 de *G. robustum* podría sugerir que cuando las frondas grandes disminuyan, por causas naturales o cosecha, las frondas chicas aumenten. Esto es, la reproducción vegetativa aumentaría. Por otra parte, el abundante porcentaje de frondas menores de 10 cm, que se originan principalmente de ejes rastreros de frondas vecinas, resalta la importancia de la reproducción vegetativa para esta especie.

En Gelidiales se conoce poco sobre la edad o talla mínima requerida antes de que una fronda juvenil inicie su reproducción (Santelices, 1988). En este estudio, la talla mínima de reproducción de frondas tetraspóricas de *G. robustum* varió con la profundidad y con el sitio de recolección (ANOVA, $P < 0.001$), lo que muestra que este carácter no tiene un valor fijo.

La diferencia de tallas entre frondas tetraspóricas y carpospóricas de *G. robustum* se ha reportado en otras algas rojas (Kain, 1986; May, 1986). Aparentemente, sin embargo, las diferencias en la talla mínima de reproducción de frondas carpospóricas vs tetraspóricas no se había reportado antes.

Con la información disponible de *G. robustum* en Baja California, aún no se puede

Norall *et al.*, 1981), although the opposite has been observed for *Plocamium cartilagineum* (L.) Dixon (Kain, 1986).

The decrease in the average size of *G. robustum* fronds from north (13.9 cm, Natividad 8 m) to south (10.8 cm, San Hipólito) follows the pattern reported by Guzmán-del Próo and De la Campa-de Guzmán (1979). At a greater depth (Natividad 15 m), the average size increased (20.5 cm) as a result of a greater frequency of size class 5 (fig. 3). A similar situation has been reported for *Chondrus crispus* Stackhouse (Mathieson and Burns, 1975).

The inverse relationship of size classes 3 and 4 vs size class 1 fronds of *G. robustum* can suggest that when larger fronds decrease, from natural causes or harvesting, small fronds increase. That is, vegetative reproduction increases. On the other hand, the high abundance of fronds less than 10 cm in length, growing from creeping axes of neighboring fronds, emphasizes the importance of vegetative reproduction in this species.

Little is known about the age or minimum size needed for fronds of Gelidiales to become reproductive (Santelices, 1988). In this study, the minimum reproductive size of tetrasporic fronds of *G. robustum* varied with depth and with collection site (ANOVA, $P < 0.001$), demonstrating that this character does not have a constant value.

The size difference between tetrasporic and carposporic fronds of *G. robustum* has been reported in other red seaweeds (Kain, 1986; May, 1986). Apparently, however, differences in minimum reproductive size of carposporic vs tetrasporic fronds have not been reported.

With the available information on *G. robustum* from Baja California, it is not possible to design a management program that includes all relevant biological and chemical elements. It is of great importance, however, to harvest as few fronds smaller than 10 cm as is physically possible, since regeneration of the bed depends on them.

The results obtained in this study suggest that *G. robustum* growing at a depth of 15 m might be more susceptible to harvesting, since sporophytic and vegetative reproduction is decreased with respect to fronds at 6-8 m depth (figs. 3, 4). Fortunately, nowadays, *G.*

diseñar un plan de manejo que incluya todos los elementos biológicos y químicos relevantes. Sin embargo, es de gran importancia que los manojos de frondas cosechados contengan el menor número de frondas menores de 10 cm, ya que los rizoides con estas frondas representan el potencial de regeneración de un manto algal de *G. robustum*.

Los resultados obtenidos en el presente estudio sugieren que *G. robustum* creciendo a 15 m de profundidad puede ser más sensible a la cosecha, ya que se reproduce menos vegetativamente y por esporas (figs. 3, 4). Afortunadamente, en la actualidad, *G. robustum* no se cosecha comúnmente a 15 m de profundidad o más profundo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece ampliamente a H. Rodríguez-Garza su amistad y apoyo en el muestreo, en ocasiones con condiciones adversas; a L. Bazúa-Sicre su hospitalidad en Bahía Tortugas; a los cooperativistas pesqueros de Isla Natividad y Punta San Hipólito su ayuda en el campo; a J.R. Saénz-Morales el transmitir su experiencia en el manejo del paquete STATISTICA®; y a E. Sosa-Cordero sus comentarios a una versión inicial del manuscrito. Se agradece especialmente a P. Silva y dos revisores anónimos, cuyos comentarios mejoraron substancialmente la versión final del manuscrito.

REFERENCIAS

Abbott, I.A. (1980). Seasonal population biology in some carrageenophytes and agarophytes. In: I.A. Abbott, M.S. Foster and L.F. Eklund (eds.), Pacific Seaweed Aquaculture. California Sea Grant College, La Jolla, California, pp. 45-53.

Akatsuka, I. (1986). Japanese Gelidiales (Rhodophyta), especially *Gelidium*. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 24: 171-263.

Bakun, A. and Nelson, C.S. (1977). Climatology of upwelling related processes off Baja California. CalCOFI Rep., 19: 107-127.

Casas-Valdez, M.M. y Fajardo-León, C. (1990). Análisis preliminar de la explotación de *Gelidium robustum* (Gardner) Hollenberg y

robustum is not commonly harvested at depths of or greater than 15 m.

ACKNOWLEDGEMENTS

Many thanks are due to H. Rodríguez-Garza for his friendship and help with the sampling, sometimes during severe meteorological conditions; to L. Bazúa-Sicre for his hospitality in Bahía Tortugas; to the fishermen from Isla Natividad and Punta San Hipólito for their help with the field work; to J.R. Saénz-Morales for his instruction in the use of the statistical package STATISTICA®; and E. Sosa-Cordero for his comments on an earlier version of the manuscript. Special thanks to P. Silva and two anonymous reviewers, whose comments substantially improved the final version of the manuscript.

English translation by the author.

Abbott en Baja California Sur, México. Inv. Mar. CICIMAR, 5: 83-86.

Craigie, J.S. and Pringle, J.D. (1978). Spatial distribution of tetrasporophytes and gametophytes in four maritime populations of *Chondrus crispus*. Can. J. Bot., 56: 2910-2914.

Espinoza, J. y Rodríguez, H. (1992). Rendimiento y fuerza de gel de *Gelidium robustum* (Gelidiales, Rhodophyta) de la parte central de la península de Baja California. Rev. Inv. Cient., 3: 1-10.

Fralick, R.A. and Andrade, F. (1981). The growth, reproduction, harvesting and management of *Pterocladia pinnata* (Rhodophyceae) in the Azores, Portugal. Int. Seaweed Symp., 10: 289-295.

Guzmán-del Próo, S.A. y De la Campa-de Guzmán, S. (1969). Investigaciones sobre *Gelidium cartilagineum* en la costa occidental de Baja California, México. Int. Seaweed Symp., 6: 179-186.

Guzmán-del Próo, S.A. and De la Campa-de Guzmán, S. (1979). *Gelidium robustum* (Florideophyceae), an agarophyte of Baja California, Mexico. Int. Seaweed Symp., 9: 303-308.

- Guzmán-del Prío, S.A., De la Campa-de Guzmán, S. and Pineda-Barrera, J. (1972). Shedding rhythm and germination of spores in *Gelidium robustum*. *Int. Seaweed Symp.*, 7: 221-228.
- Guzmán-del Prío, S.A., Casas-Valdez, M., Díaz-Carrillo, A., Díaz-López, M.L., Pineda-Barrera, J. y Sánchez-Rodríguez, M.E. (1986). Diagnóstico sobre las investigaciones y explotación de las algas marinas de México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 3 (No. esp. II): 1-66.
- Johnstone, G.R. and Feeny, F.L. (1944). Periodicity of *Gelidium cartilagineum*, a perennial red alga. *Am. J. Bot.*, 31: 25-29.
- Kain, J.M. (1986). Plant size reproductive phenology of six species of Rhodophyta in subtidal Isle of Man. *Br. Phycol. J.*, 21: 129-138.
- Kaliaperumal, N. and Rao, M.U. (1982). Seasonal growth and reproduction of *Gelidiopsis variabilis* (Greville) Schmitz. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 61: 265-270.
- Kaliaperumal, N. and Rao, M.U. (1985). Seasonal growth, reproduction and spore shedding in *Pterocladia heteroplotos*. *Proc. Indian Acad. Sci. (Plant Sciences)*, 94: 627-632.
- Kaliaperumal, N. and Rao, M.U. (1986). Growth, reproduction and sporulation of marine alga *Gelidium pusillum* (Stackhouse) Le Jolis. *Indian J. Mar. Sci.*, 15: 29-32.
- Mathieson, A.C. and Burns, R.L. (1975). Ecological studies of economic red algae. V. Growth and reproduction of natural and harvested populations of *Chondrus crispus* Stackhouse in New Hampshire. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 17: 137-156.
- May, G. (1986). Life history variations in a predominantly gametophytic population of *Iridaea cordata* (Gigartineae, Rhodophyta). *J. Phycol.*, 22: 448-455.
- McHugh, D.J. (1991). Worldwide distribution of commercial resources of seaweeds including *Gelidium*. *Hydrobiologia*, 221: 19-30.
- Melo, R.A. and Neushul, M. (1993). Life history and reproductive potential of the agarophyte *Gelidium robustum* in California. *Hydrobiologia*, 260/261: 223-229.
- Molina-Martínez, J. (1986). Notas sobre tres especies de algas marinas: *Macrocystis pyrifera*, *Gelidium robustum* y *Gigartina canaliculata* de interés comercial en la costa occidental de Baja California, México. *Contr. Biol. Tec.-Pesq. Doc. Téc. Inf. (Ensenada, BC)*, 3: 16-39.
- Norall, T.L., Mathieson, A.C. and Kilar, J.A. (1981). Reproductive ecology of four subtidal red algae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 54: 119-136.
- Oliveira, E.C. y Sazima, I.P. (1973). Estudos sobre a biologia de algas agarófitas. I. Recolonização, brotamento e fenologia em populações naturais de *Pterocladia capillacea* (Rhodophyta-Gelidiaceae). *Bol. Zool. Biol. Mar., Nueva Ser.*, 30: 677-690.
- Roden, G.I. (1972). Large-scale upwelling off northwestern Mexico. *J. Phys. Oceanogr.*, 2: 184-189.
- Rodríguez-Garza, H. y Espinoza-Ávalos, J. (1987). Variación de fases reproductivas de *Gelidium robustum* (Gard.) Holl. y Abbott en siete mantos algales de la península de Baja California, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 3: 79-86.
- Rueness, J. and Fredriksen, S. (1990). Field and culture studies of species of *Gelidium* (Gelidiales, Rhodophyta) from their northern limit of distribution in Europe. *Hydrobiologia*, 204/205: 419-424.
- Santelices, B. (1988). Synopsis of biological data on the seaweed genera *Gelidium* and *Pterocladia* (Rhodophyta). *FAO Fish. Synop.*, 145: 55 pp.
- Santelices, B., Oligier, P. and Montalva, S. (1981). Production ecology of Chilean Gelidiales. *Int. Seaweed Symp.*, 10: 351-356.
- Stewart, J.G. (1968). Morphological variation in *Pterocladia pyramidale*. *J. Phycol.*, 4: 76-84.
- Thomas, P.C., Rao, K.R. and Subbaramaiah, K. (1975). Changes in the natural growth of *Gelidiella acerosa* (Förskal) Feldmann et Hamel in an exploited population. *Bot. Mar.*, 18: 241-243.
- Yamasaki, H. and Osuga, H. (1960). Studies on the propagation of gelidiaceous algae. V. On the ratio cystocarpophyte to tetrasporophyte in *Gelidium amansii* on the artificial stone-bed. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 26: 9-12.
- Zertuche-González, J.A. (1993). Situación actual del cultivo de algas agarófitas en América Latina y el Caribe. *Progr. Coop. Gub. FAO-Italia. Proyecto Aquila II. Doc. Campo* 12: 1-15.