

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

BIOMASA, CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN QUÍMICA DE LA
CARRAGENOFITA *Mastocarpus papillatus* (C. AGARDH) KÜTZING
(RHODOPHYTA, GIGARTINALES), DE PUNTA SAN ISIDRO
(EJIDO ERÉNDIRA), B. C.

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS
EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

P R E S E N T A

LAURA ELENA ZIZUMBO ALAMILLA

ENSENADA, B.C. SEPTIEMBRE DE 1999

A FERNANDO

A MIS PAPAS Y A MIS HERMANOS

RESUMEN

El potencial económico de la carragenofita *Mastocarpus papillatus* se evaluó al obtener datos de biomasa in situ, tasa de crecimiento y rendimiento y calidad del carragenano, de las tres formas de la especie encontradas en Punta San Isidro (Ejido Eréndira), B. C. Los valores de biomasa fluctuaron entre 2.26 y 155.03 g peso húmedo m⁻². En general, la biomasa fue mayor en primavera; sin embargo, el patrón estacional fue diferente entre las formas chica e intermedia; la biomasa de la forma grande (fase cistocárpica) no presentó cambios considerables a lo largo del año. La tasa de crecimiento de las diferentes formas de *M. papillatus*, en condiciones de laboratorio, fluctuó entre 0.96 y 4.12 % día⁻¹; la fase cistocárpica presentó la menor tasa de crecimiento. El mayor crecimiento se presentó en el intervalo de temperatura de 18 a 24 °C; los 27 °C representan una temperatura letal para la planta. Químicamente, al extraer el carragenano mediante tratamiento alcalino (fase cistocárpica), el rendimiento disminuyó, en promedio, 60 %. Sin embargo, la fuerza de gel aumentó un 1618 %: de 37.77 a 611.1 g cm⁻² (muestra de verano). Así, el mejoramiento en la calidad del carragenano se debió principalmente al aumento en la fuerza de gel, así como a la reducción de impurezas, lo cual se deduce a partir de los resultados del análisis químico del carragenano nativo y el alcalino, ya que indican valores de concentración de sulfatos, concentración de 3,6-anhidrogalactosa e histéresis muy similares. El rendimiento estacional de carragenano nativo, de plantas cistocárpicas, fluctuó entre 58.03 y 67.92 %, y el rendimiento alcalino entre 17.45 y 31.57 %. La histéresis resultó de 10.5-11 °C en el carragenano nativo, y de 12-13 °C en el alcalino. El análisis comparativo de las propiedades físicas del carragenano nativo, entre las tres formas de *M. papillatus*, únicamente mostró diferencias significativas en la fuerza de gel. De las propiedades físicoquímicas del carragenano alcalino, únicamente la fuerza de gel mostró diferencias estacionales significativas, con un intervalo de 553.28 a 864.3 g cm⁻². Finalmente, el análisis infrarrojo indicó la presencia de un carragenano híbrido del tipo $\kappa(\iota)$ en la fase cistocárpica.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

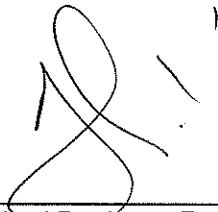
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

BIOMASA, CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN QUÍMICA DE LA
CARRAGENOFITA *Mastocarpus papillatus* (C. AGARDH)
KÜTZING (RHODOPHYTA, GIGARTINALES), DE PUNTA SAN
ISIDRO (EJIDO ERÉNDIRA), B. C.

TESIS DE MAESTRIA
QUE PRESENTA

LAURA ELENA ZIZUMBO ALAMILLA

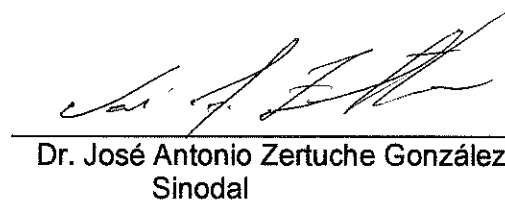
APROBADA POR:



M. C. Isai Pacheco Ruiz
Director de tesis



M. C. Felipe Correa Díaz
Sinodal



Dr. José Antonio Zertuche González
Sinodal

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, M. C. Isaí Pacheco Ruíz y a los miembros de mi Comité de Tesis: M. C. Felipe Correa-Díaz y Dr. José Antonio Zertuche González por todo el apoyo que me brindaron para que este trabajo saliera adelante.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas, a la Facultad de Ciencias Marinas y al Almacén de Química por todas las facilidades y el apoyo brindado durante esta etapa de mi formación académica.

A mis compañeros y personal del Laboratorio de Macroalgas, por su disposición y gran ayuda en distintas etapas del trabajo: Enrique Hernández, Angélica, Marco, Pepe, Bece, Alberto, Edgar. A Miriam y Ana Luz por su gran ayuda.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico proporcionado mediante su programa de becas.

De manera muy especial, a Fernando. Fer, este logro es de los dos.

También de manera muy especial a mi mamá, a mi papá y a mis hermanos Alda y Octavio. Sin ustedes no lo hubiera logrado.

INDICE

	Página
INTRODUCCION.....	1
Objetivos.....	6
AREA DE ESTUDIO.....	8
METODOLOGIA.....	10
Variación Estacional de Biomasa.....	10
Crecimiento.....	11
Análisis Químico y Físicoquímico de carragenano.....	12
1. Rendimiento.....	12
1.1. Extracción de carragenano.....	12
1.1.1. Extracción Normal.....	12
1.1.2. Extracción con pretratamiento alcalino.....	13
2. Fuerza de gel.....	13
3. Propiedades Físicoquímicas.....	14
3.1. Análisis Físico.....	14
3.1.1. Punto de Fusión.....	14
3.1.2. Punto de Gelificación.....	15
3.1.3. Histéresis.....	15
3.2. Análisis Químico.....	15
3.2.1. Cuantificación de Sulfatos.....	15
3.2.2. Cuantificación de 3,6-Anhidrogalactosa.....	15
3.3. Análisis Infrarrojo.....	16
ANALISIS ESTADISTICO.....	16
RESULTADOS.....	17
Variación Estacional de Biomasa.....	17
Crecimiento.....	17
Análisis Químico y Físicoquímico de Carragenano.....	20

Carragenano nativo.....	20
Carragenano alcalino.....	20
Análisis Infrarrojo.....	27
DISCUSION.....	29
LITERATURA CONSULTADA.....	34

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Fechas de colecta de biomasa.....	10
Tabla 2. Fechas de colecta de biomasa para extracción de carragenano.....	12
Tabla 3. Registro puntual de la temperatura del agua de mar, en Punta San Isidro. Ciclo anual 1995-1996.....	18
Tabla 4. Análisis físicoquímico de carragenano de <i>Mastocarpus papillatus</i> (fase cistocárpica).....	22
Tabla 5. Análisis físico del carragenano nativo de las tres formas de <i>Mastocarpus papillatus</i> (verano).....	22

LISTA DE FIGURAS

	Página
Fig. 1. Localización geográfica del área de estudio.....	9
Fig. 2. Variación estacional de Biomasa (peso húmedo) de las tres formas de <i>Mastocarpus papillatus</i> en Punta San Isidro.....	19
Fig. 3. Crecimiento de las tres formas de <i>Mastocarpus papillatus</i> bajo diferente temperatura.....	19
Fig. 4. Rendimiento estacional de carragenano nativo y alcalino (fase Cistocárpica).....	23
Fig. 5. Fuerza de gel de carragenano nativo. Formas de verano (forma grande = fase cistocárpica).....	23
Fig. 6. Punto de Fusión, Punto de Gelificación e Histéresis de carragenano nativo. Formas de verano (forma grande = fase cistocárpica).....	24
Fig. 7. Variación estacional de la fuerza de gel de carragenano alcalino (fase cistocárpica).....	24
Fig. 8. Variación estacional del Punto de Fusión, Punto de Gelificación e Histéresis de carragenano alcalino (fase cistocárpica).....	25
Fig. 9. Variación estacional del contenido de sulfatos de carragenano alcalino (fase cistocárpica).....	25
Fig. 10. Variación estacional del contenido de 3,6-Anhidrogalactosa de	

carragenano alcalino (fase cistocárpica).....25

Fig. 11. Espectro de infrarrojo de carragenano nativo y de carragenano
obtenido mediante tratamiento alcalino, de *Mastocarpus papillatus*
(fase cistocárpica).....28

INTRODUCCION

En la costa del Pacífico del estado de Baja California, existen varias especies de algas rojas del Orden Gigartinales, pertenecientes a la división Rhodophyta (Abbott y Hollenberg, 1976), las cuales poseen carragenano y pudieran ser explotadas para la producción de este ficocoloide, que se utiliza industrialmente como aditivo, por sus cualidades espesantes, como estabilizador de emulsiones y agente gelificante (Guiseley *et al.*, 1980 *in* McHugh, 1987). Sin embargo, en la zona sólo se ha explotado esporádicamente, desde 1966, la carragenofita *Chondracanthus canaliculatus* (Harv.) (Molina-Martínez, 1986; Zertuche-González, 1993). Recientes estudios sobre la flora de Baja California permiten considerar la utilización de otras Gigartinales como *Mastocarpus papillatus* (C. Agard) Kützing, *Chondracanthus spinosus* (Kützing) Guiry, *Chondracanthus harveyanus* (Kützing) Guiry, *Chondracanthus corymbiferus*, etc. La aparente presencia perenne de muchas de estas algas, permitiría una explotación racional de praderas naturales en forma continua. Sin embargo, prácticamente se desconocen aspectos sobre su ecología *in situ*, variación estacional de sus geles y la calidad de los mismos.

Aguilar-Rosas *et al.* (1982) mencionan que en Baja California existen 17 especies de algas rojas con potencial de explotación comercial; de éstas, el 53 % son del orden Gigartinales. Sin embargo, Zertuche-González (1993) menciona que sólo *Chondracanthus canaliculatus* es la especie que presenta *in situ* 625 tm secas, con potencial de ser cosechada a partir de mantos naturales, en más de una cosecha por año. Guadarrama-Villalobos (1998), menciona que las carragenofitas de la costa del Pacífico del estado de Baja California, se caracterizan por presentarse en el medio natural en forma de pequeños parches con baja densidad, lo que no justificaría su

explotación directa. Sin embargo, tal diversidad de especies en la región, representa un potencial importante por la posible selección de cepas, lo cual permitiría la instalación de cultivos a gran escala, siempre y cuando existan praderas susceptibles de proveer materia prima (biomasa o propágulos), y las plantas produzcan tanto la cantidad, como la calidad del carragenano que la industria demanda.

Para poder llevar a cabo la explotación racional de estos recursos con bajas biomásas, se requiere de información básica de algunos atributos poblacionales, como la variación anual de la abundancia, patrones reproductivos, así como algunas características químicas de su carragenano, aspectos que hasta el momento se conocen sólo parcialmente para *C. canaliculatus* (Pacheco-Ruiz *et al.*, 1989; García-Lepe *et al.*, 1997; Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1990; Ballesteros-Grijalva *et al.*, 1996; Correa-Díaz *et al.*, 1990), y son mínimos en *Chondracanthus spinosus* (Guadarrama-Villalobos, 1998) y *M. papillatus* (Correa-Díaz *et al.*, 1990).

M. papillatus, es una carragenofita de la familia Gigartinaceae y se distribuye desde el sur de Columbia Británica en Canadá, hasta el norte de Baja California, México (Abbott, 1972; Scagel, 1973 *in* Polanshek y West, 1977). Se desarrolla en el nivel medio y superior de la zona intermareal. El talo forma frondas erectas, alcanza una altura máxima de 15 cm y presenta al menos cuatro principales formas, las cuales difieren en el ancho, forma de las frondas, distribución y tamaño de las papilas distribuidas en su superficie. El tetrasporofito se presenta en estado costroso, conocido como el género independiente *Petrocellis* sp. El talo gametofítico masculino carece de papilas, y posee un color de ligeramente rosado a amarillento. Los cistocarpos se localizan en las papilas de los gametofitos femeninos, los cuales poseen un color café oscuro (Abbott y Hollenberg, 1976). *M. papillatus* posee dos tipos de historias de vida:

uno sexual con plantas masculinas y femeninas, característico de historias de vida trifásicas, que involucran un tetrasporofito costroso; y otro apomítico con la presencia de únicamente plantas cistocárpicas (Polanshek y West, 1977; Avila y Alveal, 1987). Bajo condiciones controladas de laboratorio (Avila y Alveal, 1987) han demostrado la presencia de apomixia únicamente en plantas cistocárpicas (Polanshek y West, 1977). Pero dada su amplia distribución, Zupan y West (1988) mencionan que plantas en diferentes localidades presentan diferentes historias de vida. Así, 89 plantas colectadas en Punta Baja, Baja California, al liberar sus carposporas generaron plantas costrosas, lo cual indica que las plantas del sur, en general, presentan historias de vida trifásicas heteromórficas "normales"; mientras que las plantas femeninas de la región media y norte, al liberar sus carposporas, ocurrió una producción de costros que fluctuó de 70 a cerca de 100%. Lo anterior indicó que en las plantas del norte es más común encontrar procesos partenogenéticos.

Se han realizado estudios tendientes a demostrar los amplios intervalos de tolerancia que *M. papillatus* presenta respecto a la temperatura y desecación. Phillips y Mitsui (1982) mencionan que la especie presenta un amplio intervalo de tolerancia a la temperatura y que éste va desde los -20 hasta los 32.5 °C. Por otra parte, Bell (1993; 1995), a pesar de que hace referencia a esta amplia tolerancia, al medir fotosíntesis en tejido de *M. papillatus*, encuentra que cuando las partes apicales de esta alga se exponen a temperaturas entre 15 y 25 °C por dos horas, la fotosíntesis en la planta rápidamente se recupera después de la reinmersión de la planta en el agua, lo cual no ocurre después que la planta se expone a temperaturas de 35 °C.

Por otra parte, Carrington (1990) demuestra que la característica multiforme de *M. papillatus* se debe atribuir a la zona donde se distribuye, ya que la planta siempre está

expuesta a amplias fuerzas hidrodinámicas por el rompimiento de las olas; así, su amplia variabilidad morfológica es una adaptación al ambiente.

Químicamente, Abbott (1980) indica que *M. papillatus* presenta generaciones heteromórficas en las que los gametofitos, que son frondas macroscópicas erectas, contienen *kappa* carragenano; y el esporofito, que es un talo costroso, posee *lambda* carragenano. Además, las plantas femeninas apomíticas poseen menor cantidad de *kappa* carragenano que las plantas sexuales femeninas y masculinas, en donde la producción es de 40-68 % del peso seco (West, 1977 *in* Abbott, 1980). McCandless *et al.* (1983) compararon el tipo de carragenano de distintas fases reproductivas de especies de la familia Gigartinaceae, incluyendo a *M. papillatus*. Se encontró que el tipo de carragenano gelante $\kappa(\iota)$ se presenta en la fase gametofítica, y el carragenano viscoso no gelante, λ , o sus variantes ξ o π , se presenta en la fase tetrasporofítica. Se reporta además, que no existen diferencias entre el carragenano de plantas masculinas y femeninas de cada especie. Un análisis infrarrojo del gel de la fase cistocárpica de *M. papillatus*, colectada en el mes de abril en San Ramón, Baja California, mostró un pico de absorción en la región de los 805 cm^{-1} (α -D-3,6-anhidrogalactosa-2-sulfato), lo cual indica la presencia de un carragenano "híbrido" del tipo $\kappa(\iota)$ (Correa-Díaz *et al.*, 1990).

En México, *M. papillatus* es una especie con potencial económico por ser productora de *kappa*-carragenano. A nivel mundial, la mayor demanda se presenta para este tipo de carragenano. En la literatura sólo se reporta *kappa*-carragenano para la planta macroscópica; además, aún se desconocen las propiedades de este gel.

Los carragenanos son polisacáridos lineales y sulfatados, extraídos de varias especies de algas rojas. Están compuestos de unidades de D-Galactosa, unidas por enlaces alternantes α -1,3 y β -1,4. Estos galactanos se clasifican de acuerdo a la

presencia de la unidad 3,6-anhidrogalactosa en el enlace 4, y a la posición y número de grupos sulfato (Rochas *et al.*, 1989). Los tipos más importantes de carragenanos han sido determinados como *kappa*-, *iota*-, *lambda*-, *mu*- y *nu*-carragenanos. El *Mu*- y *nu*-carragenano son los precursores biológicos del *kappa*-carragenano. El *kappa* y el *iota* contienen la unidad 3,6-anhidro y son polímeros gelificantes, mientras que el *lambda*, con solamente unidades de galactosa es un polímero espesante (Rochas *et al.*, 1989).

Los carragenanos comerciales se encuentran disponibles como sales de sodio, potasio y calcio, o más comúnmente como una mezcla de éstos. Los cationes asociados, junto a la conformación de las unidades de galactosa en la cadena del polímero, determinan las propiedades físicas de los carragenanos. Por ejemplo, los carragenanos *kappa* y *iota* forman geles en la presencia de iones de potasio o calcio, mientras que los carragenanos *lambda* no (Stanley, 1987 *in* McHugh, 1987). Los carragenanos son utilizados para gelificar, espesar, o suspender. Su mayor uso se encuentra en la fabricación de diversos alimentos, particularmente en productos lácteos (Guiseley *et al.*, 1980 *in* McHugh, 1987). Otras aplicaciones se encuentran en la industria farmacéutica, de cosméticos y de pinturas (Waaland, 1981).

Los carragenanos se obtienen de varios géneros de algas rojas, especialmente *Chondrus*, *Gigartina* e *Iridaea* de la familia Gigartinaceae, *Eucheuma* de Solieriaceae e *Hypnea* de Hypneaceae (Waaland, 1981). A partir de 1989 ha aumentado la demanda de carragenano debido al aumento en sus usos, especialmente del obtenido a partir del género *Eucheuma*; los mantos tradicionales de las especies de carragenofitas se encuentran limitados y la industria ahora depende del cultivo de esta especie. Los mayores proveedores de carragenofitas son Filipinas, Indonesia y más recientemente

Tanzania, principalmente a partir de material cultivado, seguidos por Chile y Canadá, tradicionalmente exportadores de macroalgas a partir de mantos naturales (McHugh, 1991). La mayor demanda se presenta para el *kappa*-carragenano, y *Eucheuma cottonii*, que produce este tipo de carragenano, constituye aproximadamente el 90 % de las especies de *Eucheuma* cultivadas.

En cuanto a la situación de la industria de carragenanos en México, *Chondracanthus canaliculatus*, distribuida en la costa occidental de la Península de Baja California, es la única especie en México que ha sido extraída y comercializada en forma continua. Toda su producción ha sido exportada, principalmente a los Estados Unidos, Japón y recientemente también a Francia. Su explotación, sin embargo, ha sido muy variable año con año, y ha dependido exclusivamente de la demanda del extranjero (Zertuche-González, 1993). México importa más de diez millones de dólares de carragenanos al año; sin embargo, hasta la fecha no se ha instalado una planta de extracción principalmente por la incertidumbre de contar con suficiente materia prima local. Actualmente existe una planta piloto promovida por el gobierno donde se han desarrollado ya algunos productos a partir de *Chondracanthus canaliculatus*, *Gigartina pectinata* y *Eucheuma uncinatum* (Zertuche-González, 1993).

Por todo lo anterior, en esta investigación se planteó la siguiente pregunta: ¿Existe alguna forma de *Mastocarpus papillatus* que sea la más conveniente de ser explotada comercialmente, en base a la cantidad de planta *in situ*, crecimiento y rendimiento y calidad de su carragenano? Para encontrar una respuesta se plantearon los siguientes objetivos:

1. Conocer la variación estacional de biomasa de *M. papillatus* en Punta San Isidro (Ejido Eréndira), B. C.

2. Determinar la tasa de crecimiento de las tres diferentes formas de *M. papillatus*, observadas en el campo.

3. Conocer el intervalo de tolerancia de temperatura de *M. papillatus*.

4. Conocer la variación estacional en el rendimiento y la calidad del carragenano de plantas de *M. papillatus*

colectadas en Punta San Isidro (Ejido Eréndira), B. C.

5. Comparar rendimiento y calidad de carragenano nativo, con los de carragenano obtenido mediante tratamiento alcalino.

La información obtenida en este estudio, permitirá evaluar el potencial económico de esta especie, y establecer el tipo de cepa con mayor posibilidad de uso en una futura domesticación de *M. papillatus*.

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localizó en el Ejido Eréndira, sobre la costa noroccidental de la Península de Baja California, en las coordenadas 31° 17' de latitud norte y 116° 25' de longitud oeste, 85 km al sur de la Ciudad de Ensenada, Baja California (fig. 1).

La zona de colecta de *M. papillatus* fue sobre una plataforma intermareal localizada en Punta San Isidro, constituida de sustrato rocoso, con cantos rodados de composición basáltica, con su característico color negro (Ballesteros-Grijalva, 1992). Esta zona presenta oleaje de alta energía y es influenciada por surgencias, los cuales bañan la franja litoral con aguas frías y proporcionan altas concentraciones de nutrientes (Fernández y Aldeco-Ramírez, 1981). La zona se caracteriza por tener clima templado, donde con frecuencia se presentan vientos fuertes y neblina.

Cambios bruscos en la temperatura del agua, se presentan debido a las surgencias (Dawson, 1951) que aparecen en forma intensiva de marzo a agosto (Bakum, 1973; Chávez de Ochoa, 1975), y en este período puede descender la temperatura, a valores más bajos de los que se presentan normalmente en invierno (Fernández y Aldeco, 1981; Alvarez-Borrego, J. y Alvarez-Borrego, S., 1982). López-Carrillo (1990) reporta un intervalo de temperatura del agua de 12-15.5 °C, y Ballesteros-Grijalva (1992) de 12-17 °C para el mismo ciclo anual (1988-1989).

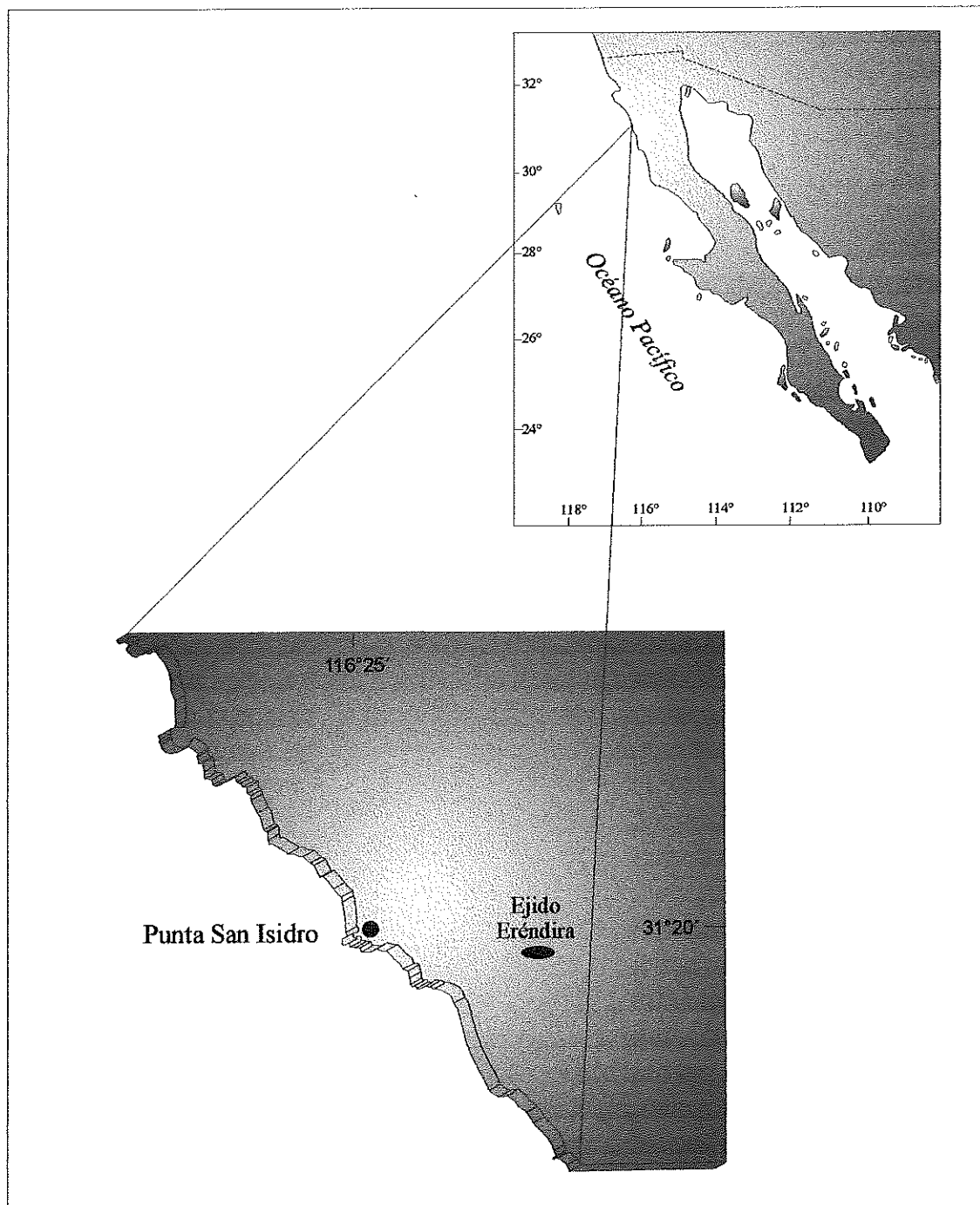


Fig. 1. Localización geográfica del área de estudio.

METODOLOGIA

VARIACION ESTACIONAL DE BIOMASA

Se ubicaron cuatro transectos perpendicularmente a la línea de costa en la zona intermareal donde se encontró la especie. Cada uno se separó entre sí por una distancia de ≈ 4 metros y su longitud se determinó por la extensión de la distribución de *M. papillatus* en el sistema litoral (entre 21 y 34 metros). Las colectas se realizaron en el ciclo anual 1995-96 (tabla 1). El muestreo consistió en coleccionar todas las plantas de *M. papillatus* dentro de un cuadrante de 625 cm^2 , el cual se recorrió a todo lo largo de cada transecto.

Tabla 1. Fechas de colecta de biomasa.

Estación	Día	Mes	Año
Otoño	9	Octubre	1995
Invierno	22	Enero	1996
Primavera	15	Abril	1996
Verano	31	Julio	1996

Las plantas de cada cuadrante se colocaron en bolsas de plástico por separado; las bolsas se etiquetaron y transportaron al laboratorio, donde se identificaron tres diferentes formas de la especie, en base a su patrón de ramificación. La forma denominada "chica" fue la de menor tamaño y presentó ramificaciones más angostas y en mayor número que la forma "intermedia". La forma "grande" correspondió a la fase cistocárpica. Esta última posee ramificaciones más anchas, y se encuentran

engrosadas por la gran cantidad de cistocarpos sobre la superficie. Tomando como base lo anterior, las plantas de cada bolsa se separaron y pesaron. De esta manera, se registró la biomasa (g húmedos m^{-2}) por forma para cada estación del año.

La temperatura del agua de mar se registró en forma puntual en cada colecta del año. Se empleó un termómetro de laboratorio (± 0.1 de error).

CRECIMIENTO

Para determinar crecimiento en laboratorio, las plantas se colectaron en enero (invierno) de 1996 en marea baja y se transportaron al laboratorio en hieleras, donde se separaron por formas y se limpiaron con un cepillo dental. Posteriormente, se colocó una planta de cada forma en un frasco de un litro con medio litro de medio Provasoli. Cada planta pesó ≈ 0.25 g peso húmedo, y el medio se cambió cada semana. Las plantas se mantuvieron en burbujeo constante a una irradiancia de $\approx 126 \mu\text{mol quanta } m^{-2} s^{-1}$, generada por lámparas de luz fría, con un fotoperíodo de 12:12 (luz:oscuridad). Las plantas se sometieron a un gradiente de temperatura con 15, 18, 21, 24 y 27 °C en una mesa de gradientes, con tres réplicas. El experimento duró cinco semanas.

ANALISIS QUIMICO Y FISICOQUIMICO DE CARRAGENANO

Las colectas de biomasa para los análisis químicos se realizaron en cada estación del año, e iniciaron en verano de 1995 (tabla 2). Durante cada colecta se obtuvo 1 kg peso húmedo de cada forma. En el laboratorio, las plantas se secaron a temperatura ambiente y posteriormente se pulverizaron en un molino de martillo, a un tamaño de partícula de 2 mm. De esta manera se obtuvieron 200 g peso seco de muestra por cada forma, para cada estación. Las muestras pulverizadas se almacenaron en frascos de vidrio y se emplearon posteriormente en la extracción del carragenano.

Tabla 2. Fechas de colecta de biomasa para extracción de carragenano.

Estación	Día	Mes	Año
Verano	29	Julio	1995
Otoño	9	Octubre	1995
Invierno	22	Enero	1996
Primavera	15	Abril	1996

1. Rendimiento.

1.1. Extracción de carragenano.

En la extracción del carragenano se utilizó la metodología de Correa-Díaz (1996), con ligeras modificaciones.

1.1.1. Extracción Normal (carragenano nativo).

Se suspendieron 3 g de alga seca molida en 300 ml de solución caliente de NaHCO_3 0.1 M. El carragenano se extrajo a 95-100° C durante 2 horas con agitación

continua. Quince minutos antes de este tiempo, se disolvieron 2.2 g de KCl y cinco minutos antes, se agregaron 5 g de tierra de diatomeas. El extracto caliente, se filtró con un filtro de presión (previamente calentado). El carragenano se precipitó en un volúmen de etanol dos veces mayor al de la solución.

El carragenano se lavó con etanol, hasta eliminar cloruros (prueba negativa al AgNO_3). El material se secó en una estufa de convección a 60°C , hasta obtener peso constante (≈ 3 días) y posteriormente se pesó y se calculó el rendimiento del carragenano normal.

1.1.2. Extracción con pretratamiento alcalino (carragenano alcalino).

Se suspendieron 10 g de alga seca molida en 400 ml de suspensión caliente de KOH al 6% en agua de mar. La muestra se sometió a tratamiento alcalino durante dos horas, a 80°C , con agitación continua. Se filtró sobre cedazo fino, y se conservaron las partículas. Se colectó una alícuota de líquido de 50 ml, para control de calidad. Las partículas se lavaron dos veces durante 15 minutos con agua fría en agitación, y se transfirieron a 300 ml de agua destilada caliente (80°C) y se ajustó el pH entre 8 y 9.

La extracción, filtración, precipitación y purificación se realizó de la misma forma como se describió para la extracción normal.

2. Fuerza de gel.

Cada muestra seca se pulverizó y se preparó una solución al 2% de carragenano y 1% de KCl, en solución Buffer, mediante calentamiento y agitación. La metodología primaria señala que la solución se prepara en agua destilada; sin embargo, las muestras de carragenano de *M. papillatus* no se disolvieron por completo en agua

destilada. Una vez disuelto el carragenano, la solución se vertió en vasos de precipitados de 5 ml (se obtuvieron 4 repeticiones por muestra). Los geles obtenidos se dejaron reposar una noche y los vasos de precipitados se colocaron en posición invertida.

La fuerza de gel se midió utilizando el "Gel-Lab", aparato que registra, para cada muestra, el peso que ejerce un émbolo sobre la superficie del gel, antes de ser perforado por el mismo. La fuerza de gel (g cm^{-2}) se calcula dividiendo este peso por el área del émbolo (Arellano-Carbajal *et al.*, 1999).

La fuerza de gel obtenida de esta manera, se convirtió a valores conocidos universalmente (unidades Nikan), para lo cual se empleó un modelo de regresión ($r^2=0.9952$) (Correa-Díaz, Com. Pers.¹).

3. Propiedades Físicoquímicas.

3.1. Análisis Físico.

3.1.1. Punto de Fusión.

La solución de carragenano al 2 % se vertió en tubos de ensaye (18x150 mm), y los geles formados se dejaron reposar durante una noche. En cada tubo se colocó, sobre la superficie del gel, una esfera de ebullición, y éstos se sumergieron en agua dentro de un vaso de precipitados. El vaso se colocó sobre una plancha de calentamiento y se calentó gradualmente (1 °C cada minuto). En el momento que se fundió el gel y la perla de ebullición cayó hasta la parte inferior del tubo, se registró la temperatura.

¹ Facultad de Ciencias Marinas. U.A.B.C.

3.1.2. Punto de Gelificación.

Después de medir el punto de fusión, los mismos tubos con el gel se dejaron enfriar, sumergidos en el agua dentro el vaso de precipitados (el agua continuó en agitación). Conforme disminuía la temperatura, se dejaban caer perlas de ebullición en el gel, con la finalidad de registrar la temperatura a la cual éstas quedaban sobre su superficie. Esta temperatura se registró como el punto de gelificación. La temperatura en los geles disminuyó a razón de 1 °C cada 2 minutos.

3.1.3. Histéresis.

Se registró como la diferencia entre los puntos de fusión y de gelificación de cada muestra.

3.2. Análisis Químico.

3.2.1. Cuantificación de Sulfatos.

Se determinó por análisis turbidimétrico de formación de sulfato de bario (Tabatabai, 1974), modificado por Craigie y Leigh (1978), con sulfato de potasio como estándar a concentraciones de 6 a 300 $\mu\text{g ml}^{-1}$. Se hidrolizaron 0.02 g de carragenano.

3.2.2. Cuantificación de 3,6-Anhidrogalactosa

Se determinó mediante el método colorimétrico de resorcinol-acetal descrito por Yaphe y Arsenault (1965), modificado por Craigie y Leigh (1978), usando fructuosa como estándar y 1.08 como factor de corrección.

3.3. Análisis Infrarrojo

Se evaluó en forma de películas que se obtuvieron al secar soluciones acuosas de carragenano, en navecillas de poliestireno (35x35 mm) a 60 °C, de muestras cistocarpicas normales (2 ml al 0.75 %) y alcalinas (2 ml al 1 %), de verano.

ANALISIS ESTADISTICO

Los datos de biomasa fueron analizados mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) de 2 factores, a pesar de que no hubo homogeneidad de varianza entre tratamientos (Underwood, 1997), considerando a la estación del año y a la forma como factores fijos. La prueba de Tukey (HSD) se aplicó como una prueba a posteriori.

Los datos de crecimiento fueron analizados mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) de 2 factores, considerando a la temperatura y a la forma como factores fijos. La homogeneidad de varianza se probó mediante la prueba de Cochran (C). La prueba de Tukey (HSD) se aplicó como una prueba a posteriori.

Los datos de los análisis químicos y físicoquímicos del carragenano se analizaron mediante la prueba chi-cuadrada (Zar, 1996).

En todas las pruebas se empleó un nivel de confianza del 95%, en el programa Statistica 4.2 (1993).

RESULTADOS

VARIACION ESTACIONAL DE BIOMASA

Se encontró diferencia significativa en la biomasa de *M. papillatus* entre las estaciones del año ($p=0.0000$) y entre formas ($p=0.0053$). En primavera se encontró la mayor biomasa anual (fig. 2), y no se detectó diferencia significativa entre la biomasa de las formas chica e intermedia. Sin embargo, sí hubo interacción ($p=0.0000$); es decir, no hubo diferencia en el promedio de biomasa durante el año entre una y otra forma, pero el patrón estacional de biomasa fue diferente entre ambas. La biomasa de la forma grande o cistocárpica no presentó cambios considerables a lo largo del año (fig. 2).

CRECIMIENTO

Se encontró diferencia significativa en el crecimiento de *M. papillatus* a diferente temperatura ($p=0.0006$) y entre las distintas formas ($p=0.0000$). El mayor crecimiento se presentó en el intervalo de temperatura de 18 a 24 °C. No se detectaron diferencias entre el crecimiento de las formas chica e intermedia; sin embargo, la forma grande (cistocárpica) presentó el crecimiento más bajo (fig. 3).

La mayor temperatura del agua de mar en Punta San Isidro se registró en otoño (18 °C), y la más baja en invierno (11.5 °C) (tabla 3).

Tabla 3. Registro puntual de la temperatura del agua de mar, en Punta San Isidro. Ciclo anual 1995-1996.

Estación	Fecha	Temperatura (°C)
Verano	29/julio/95	14.0
	31/julio/96	14.5
Otoño	9/octubre/95	18.0
	6/noviembre/95	16.0
Invierno	22/enero/96	11.5
Primavera	15/abril/96	17.0

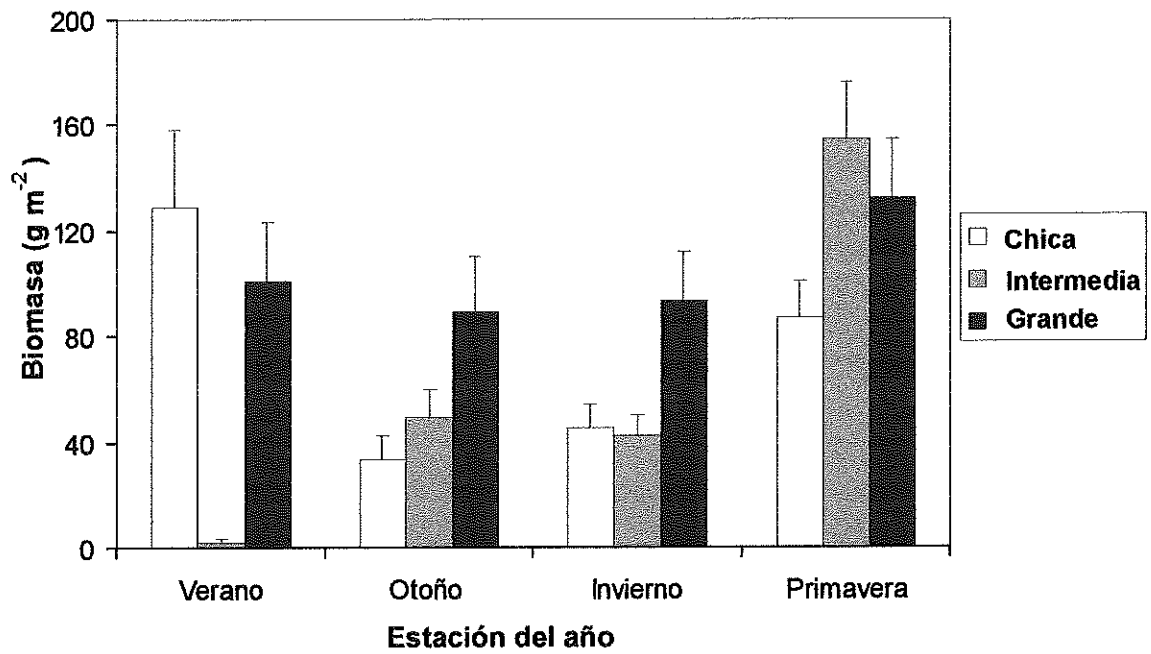


Fig. 2. Variación estacional de Biomasa (peso húmedo) de las tres formas de *Mastocarpus papillatus* en Punta San Isidro.

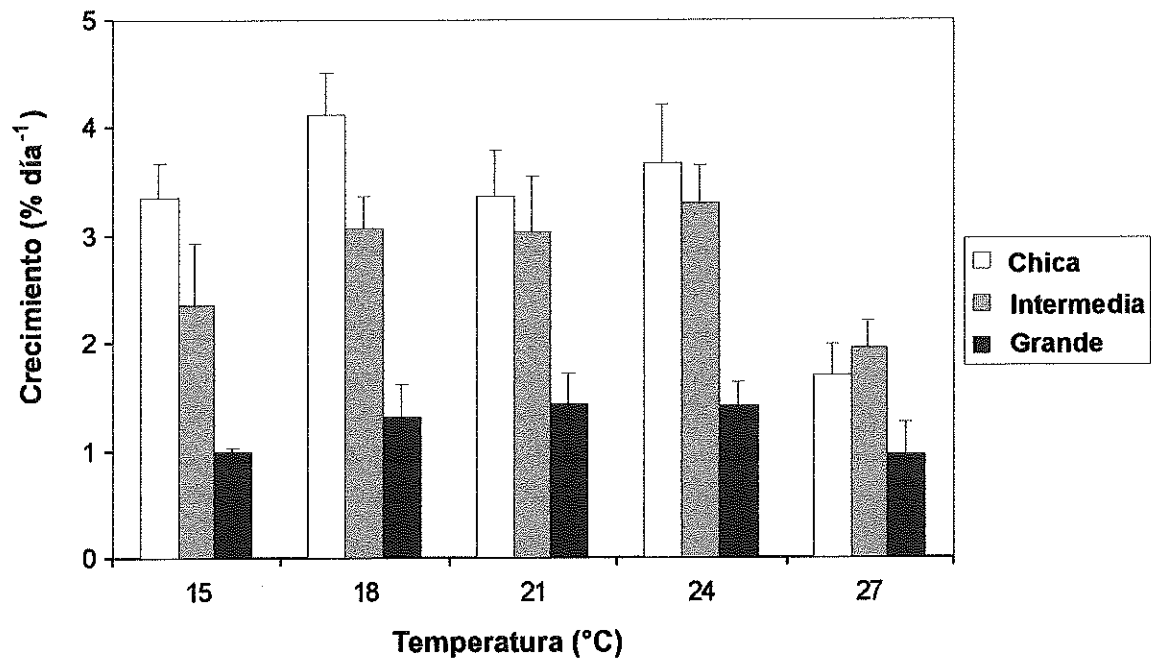


Fig. 3. Crecimiento de las tres formas de *Mastocarpus papillatus* bajo diferente temperatura.

ANÁLISIS QUÍMICO Y FÍSICOQUÍMICO DE CARRAGENANO

Carragenano nativo

No se encontró diferencia significativa ($p = 0.8082$) en el rendimiento de carragenano nativo de plantas cistocárpicas, colectadas en las diferentes estaciones del año. Sin embargo, el mayor rendimiento se presentó en verano y otoño, con 67.92 y 67.36 %, y el menor en invierno, con 58.03 % (tabla 4, fig. 4).

Las tres formas de *M. papillatus* fueron analizadas comparativamente respecto a las propiedades físicas del carragenano nativo (tabla 5). El análisis arrojó diferencias significativas ($p = 0.0001$) entre la fuerza de gel de las formas: el valor más alto se obtuvo en la forma cistocárpica con 37.77 g cm^{-2} , y el más bajo en la forma chica con 10.28 g cm^{-2} (fig. 5). No se encontró diferencia significativa entre los valores de punto de fusión ($p = 0.7589$) y de gelificación ($p = 0.7110$), los cuales fluctuaron entre 54 y 62 °C para el punto de fusión, y entre 43 y 51 °C para el punto de gelificación. Tampoco se encontraron diferencias significativas ($p = 0.9923$) entre los valores de histéresis, la cual fluctuó entre 10.5 y 11 °C (fig. 6).

El contenido de sulfatos en carragenano nativo fue de 25.46 % y el contenido de 3,6-anhidrogalactosa de 24.15 % (muestra cistocárpica de verano) (tabla 4).

Carragenano alcalino

No se encontró diferencia significativa ($p = 0.2183$) en el rendimiento estacional de carragenano alcalino, de plantas cistocárpicas. Sin embargo, se observa una diferencia importante entre el rendimiento de verano y el rendimiento del resto de las estaciones. El rendimiento presentó su mayor valor en invierno, con 31.57 %, y el menor en verano, con 17.45 % (tabla 4, fig. 4).

Sí se encontró diferencia significativa ($p = 0.0000$) en la fuerza de gel. La mayor fuerza de gel se presentó en invierno, con 864.3 g cm^{-2} y la menor en otoño, con 553.28 g cm^{-2} (tabla 4, fig. 7).

No se detectó diferencia significativa ($p = 0.9941$) en la histéresis. Esta fluctuó entre $12\text{-}13 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Tampoco se encontró diferencia significativa entre los valores de punto de fusión ($p = 0.9978$) y punto de gelificación ($p = 0.9992$) en las muestras alcalinas. El mayor punto de fusión fue de $76 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y se detectó en invierno; en el resto de las estaciones éste fue de $74 \text{ }^{\circ}\text{C}$. El mayor punto de gelificación fue de $62.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y se registró en invierno; y el menor de $61 \text{ }^{\circ}\text{C}$ se localizó en primavera (tabla 4, fig. 8).

No se encontró diferencia significativa ($p = 0.9486$) en el contenido de sulfatos. El mayor contenido se presentó en invierno, con 25.3% , y el menor en verano, con 21.57% (tabla 4, fig. 9). Tampoco se encontró diferencia significativa ($p = 0.3015$) en el contenido de 3,6-anhidrogalactosa. El mayor contenido de ésta se presentó en otoño e invierno, con 37.75 y 37.13% , y el menor en primavera, con 24.02% (tabla 4, fig. 10).

Tabla 4. Análisis fisicoquímico de carragenano de *Mastocarpus papillatus* (fase cistocárpica).

Extracción	Estación del año	Rendimiento	Fuerza de gel (g cm ⁻²)	Punto de fusión (° C)	Punto de gelificación (° C)	Histéresis (° C)	[SO ₄] (%)	[3,6-AG] (%)	Espectro de infrarrojo
Normal	Verano	67.92	37.77	62.0	51.0	11.0	25.46	24.15	κ(t)
	Otoño	67.36							
	Invierno	58.03							
	Primavera	63.52							
Alcalina	Verano	17.45	611.10	74.0	61.5	12.0	21.57	32.82	κ(t)
	Otoño	29.47	553.28	74.0	62.0	12.0	22.10	37.75	
	Invierno	31.57	864.30	76.0	62.5	13.0	25.30	37.13	
	Primavera	26.27	599.77	74.0	61.0	13.0	22.68	24.02	

Tabla 5. Análisis físico del carragenano nativo de las tres formas de *Mastocarpus papillatus* (verano).

Forma	Fuerza de gel (g cm ⁻²)	Punto de fusión (° C)	Punto de gelificación (° C)	Histéresis (° C)
Grande*	37.77	62	51	11
Intermedia	19.93	58	47.5	10.5
Chica	10.28	54	43	11

* = fase cistocárpica.

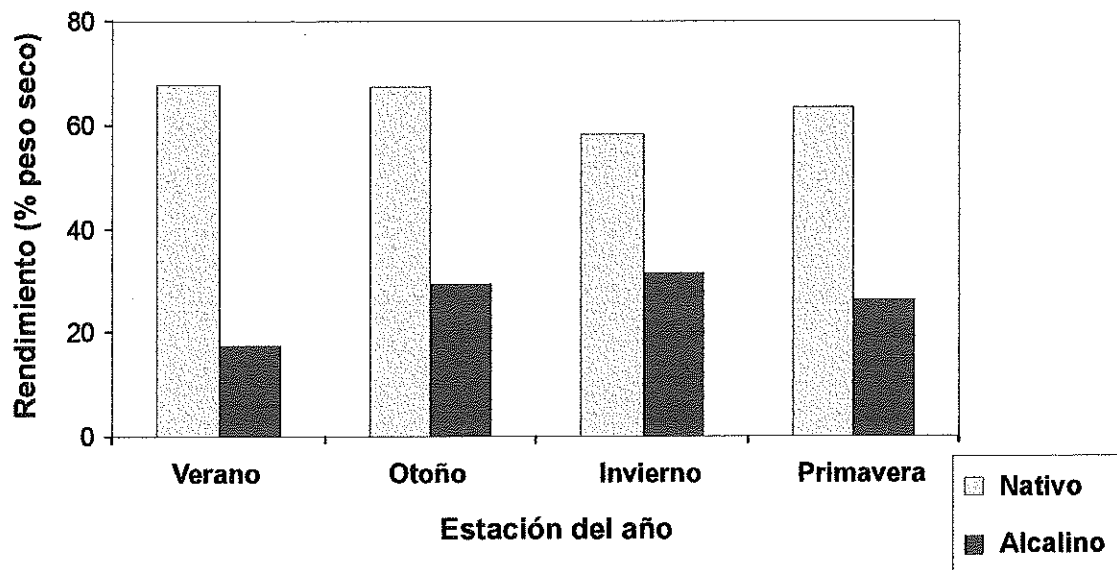


Fig. 4. Rendimiento estacional de carragenano nativo y alcalino (fase cistocárpica).

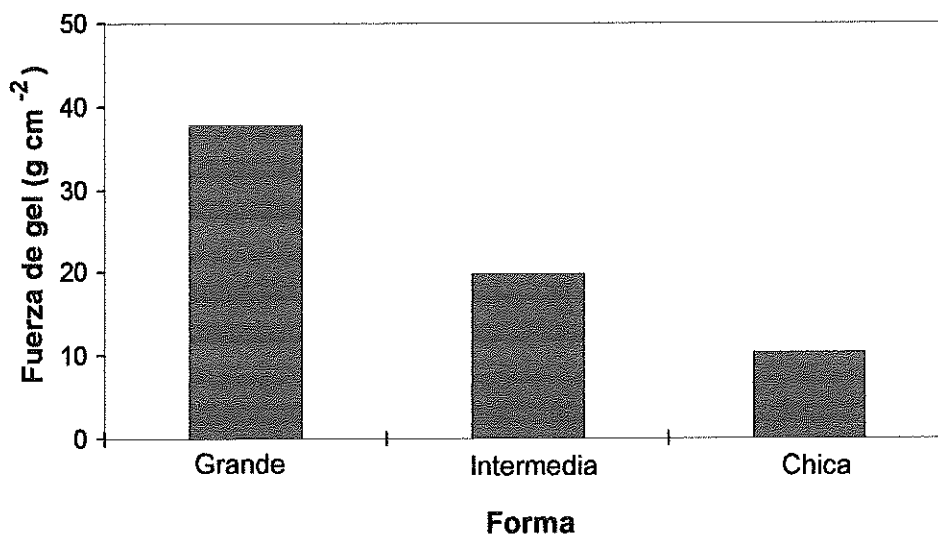


Fig. 5. Fuerza de gel de carragenano nativo. Formas de verano (forma grande = fase cistocárpica).

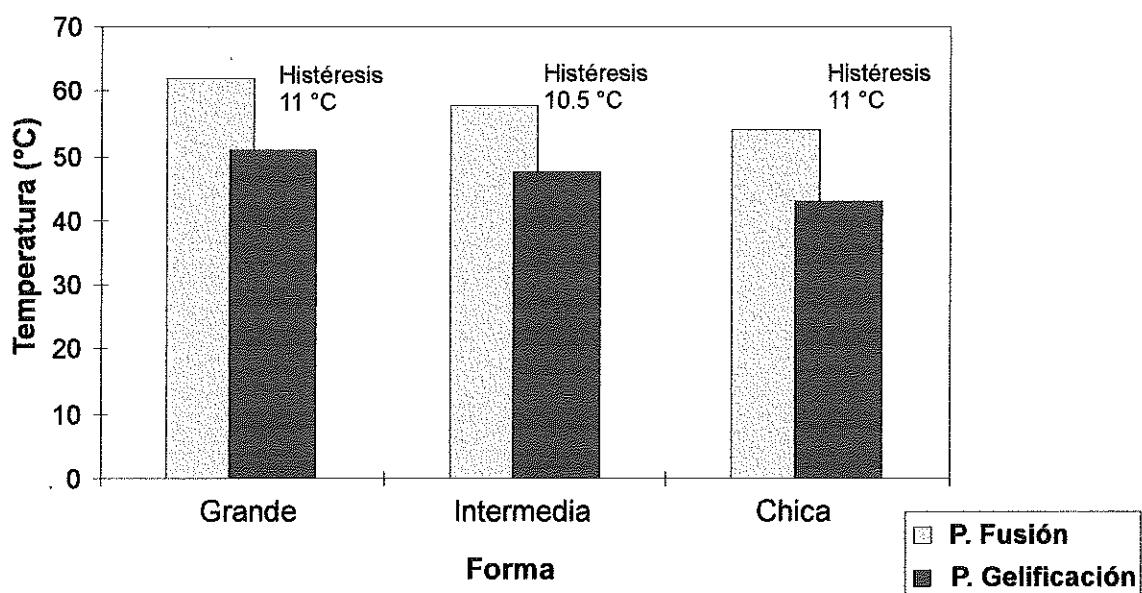


Fig. 6. Punto de Fusión, Punto de Gelificación e Histéresis de carragenano nativo. Formas de verano (forma grande = fase cistocárpica).

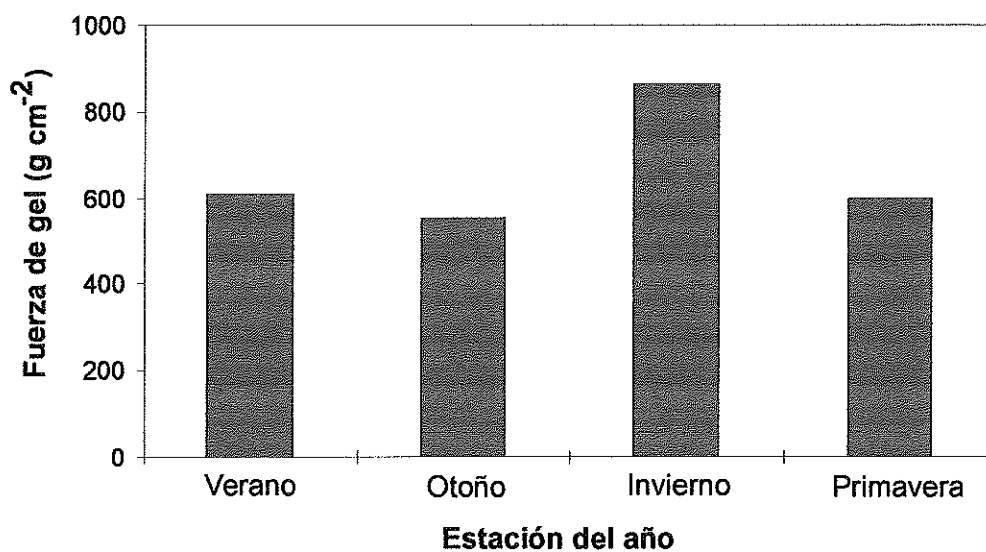


Fig. 7. Variación estacional de la fuerza de gel de carragenano alcalino (fase cistocárpica).

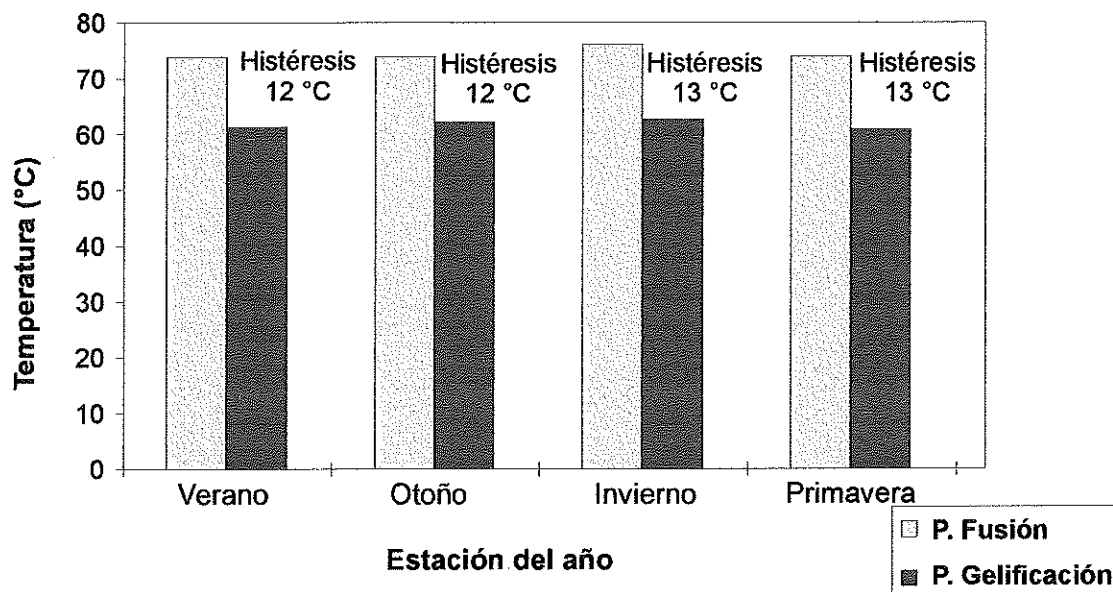


Fig. 8. Variación estacional del Punto de Fusión, Punto de Gelificación e Histéresis de carragenano alcalino (fase cistocárpica).

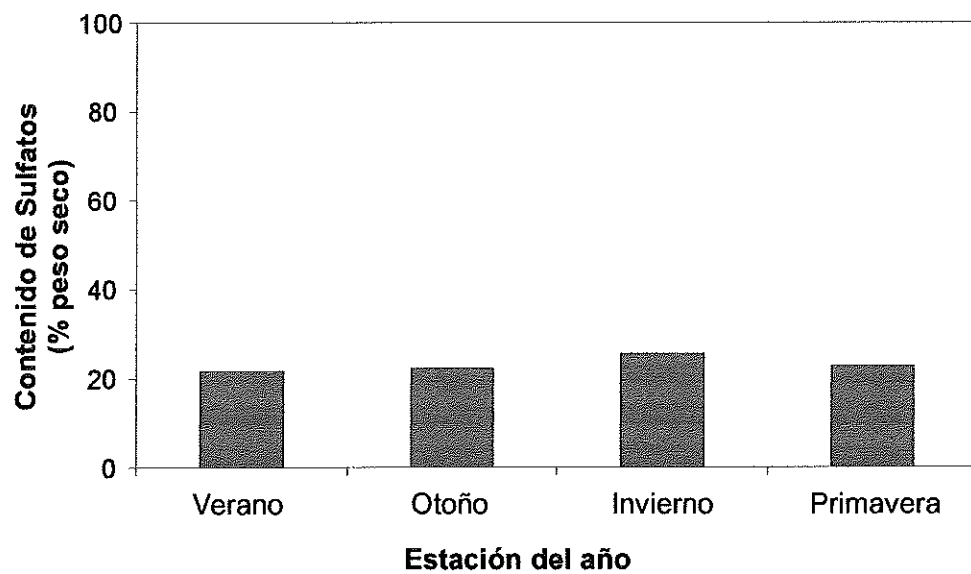


Fig. 9. Variación estacional del contenido de sulfatos de carragenano alcalino (fase cistocárpica).

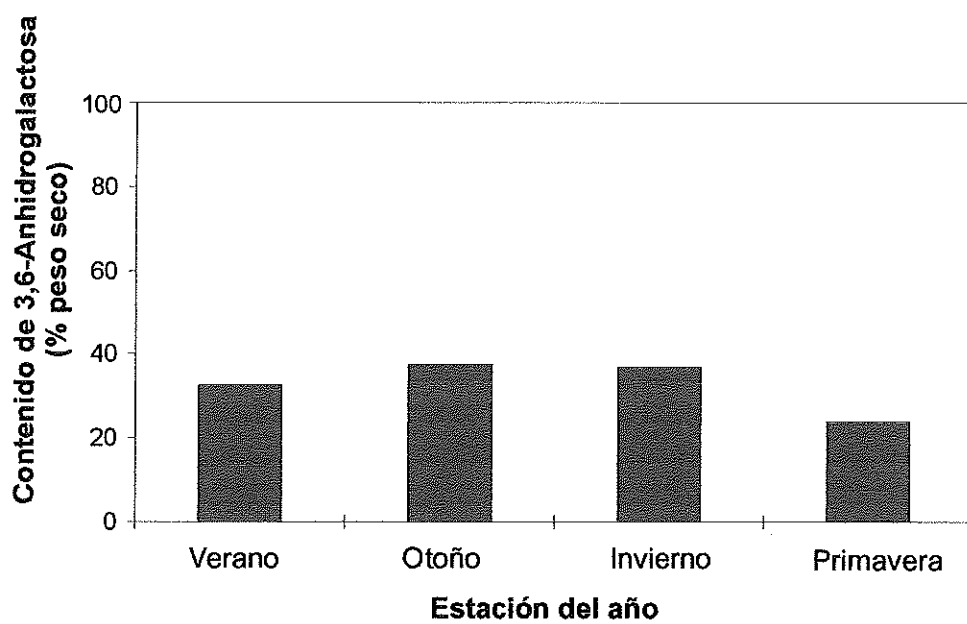


Fig. 10. Variación estacional del contenido de 3,6-Anhidrogalaactosa de carragenano alcalino (fase cistocárpica).

Análisis Infrarrojo

El espectro de infrarrojo de las muestras cistocárpicas, de carragenano nativo y alcalino (fig. 11), presentan fuertes bandas de absorción en la región de los 930 y 845 cm^{-1} . Ambos espectros presentan también bandas débiles de absorción a los 805 cm^{-1} . Lo anterior indica la presencia de un carragenano híbrido del tipo $\kappa(1)$. El espectro de la muestra alcalina presenta una banda de absorción a los 970 cm^{-1} , mejor definida que en el espectro de la muestra nativa (fig. 11).

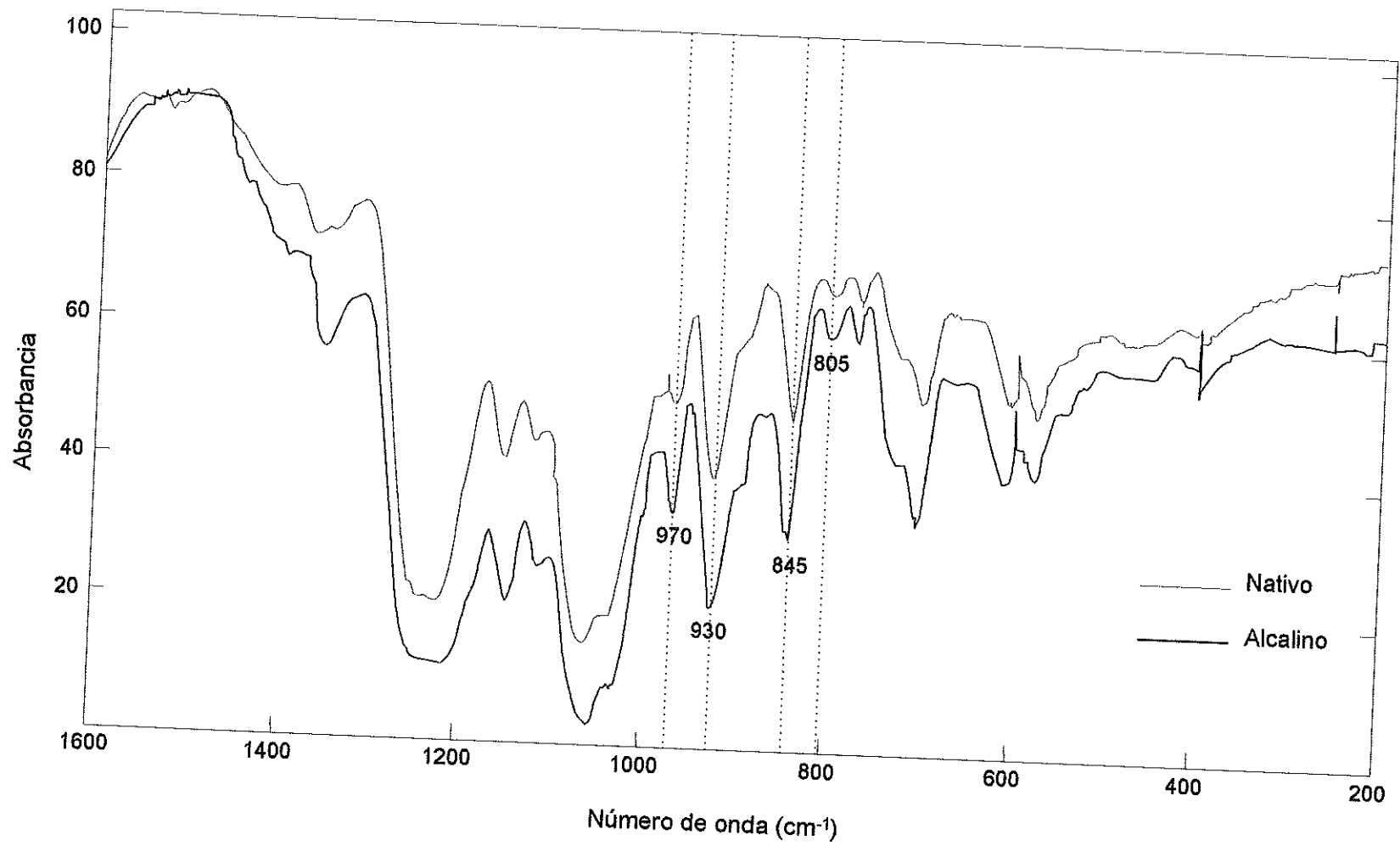


Fig. 11. Espectro de infrarrojo de carragenano nativo y de carragenano obtenido mediante tratamiento alcalino, de *Mastocarpus papillatus* (fase cistocárpica).

DISCUSION

Un factor muy importante a considerar desde el punto de vista comercial, es la disponibilidad de *M. papillatus* en el campo. La mayor biomasa se detectó en primavera, con 125 g peso húmedo m⁻², tomando en cuenta las tres formas de la especie. Cantidades de biomasa de este tipo son bajas, ya que se considera que una cosecha es redituable cuando se obtienen magnitudes superiores a 2,000 g m⁻² en peso húmedo (Ballesteros-Grijalva, 1992). Por lo cual, y dado que la biomasa *in situ* de *M. papillatus* es baja, una alternativa para su comercialización es a través del cultivo. Si se considera la tasa de crecimiento de la especie, la cual alcanzó un 4.12 % día⁻¹ como máximo (fig. 3), y si se toma en cuenta que crecimientos mayores a 2 % día⁻¹ se encuentran dentro del intervalo de una granja de producción, según lo expresó Doty (1987), es muy factible que utilizando formas juveniles o chicas de *M. papillatus*, pudiese prosperar la domesticación de esta especie.

Por otro lado, la forma grande (fase cistocárpica) de *M. papillatus* presentó la menor tasa de crecimiento. Lo anterior posiblemente se deba a que esta fase canaliza todos sus recursos a la reproducción, dando como resultado una baja tasa de crecimiento. Por otra parte, a pesar de que el análisis estadístico indicó que no existen diferencias en el crecimiento de las formas chica e intermedia, el mayor crecimiento se registró para la forma chica. En base a lo anterior, podría sugerirse que en realidad no se trata de formas distintas, sino de tres diferentes estadios, ya que la forma chica, con la mayor tasa de crecimiento, correspondería a un estadio juvenil, la forma intermedia a uno maduro y la forma grande, corresponde a la fase reproductiva (cistocárpica). El mayor crecimiento de *M. papillatus* se presentó en el intervalo de temperatura de 18 a 24 °C (fig. 3). Los 27 °C representan una temperatura letal para la planta. Es

importante mencionar que el intervalo de tolerancia de temperatura obtenido, no coincide con el reportado por Philips & Mitsui (1982) para la especie, en donde se reporta el límite superior a los 32.5 °C. El límite de tolerancia de temperatura de 18 a 24 °C coincide con la temperatura registrada en la zona de colecta de *M. papillatus*, la cual fluctuó entre 11.5 °C (invierno) y 18 °C (otoño) (tabla 3).

Químicamente, entre los efectos positivos del tratamiento alcalino en la extracción de carragenano, se encuentra la eliminación de impurezas: sustancias nitrogenadas (principalmente proteínas), pigmentos y almidón; así como la eliminación de grupos sulfato específicos, con la consecuente formación de moléculas de 3,6-anhidrogalactosa (Myslabodski, 1990). Ambos efectos se reflejan en una mejor calidad del carragenano: mejor apariencia (color, transparencia y textura) y una mayor fuerza de gel. Entre los efectos negativos se encuentra la reducción en el rendimiento del gel y el riesgo de depolimerización. Este riesgo se puede evitar al aplicar condiciones de extracción que reduzcan el efecto del oxígeno, como es el precalentar las soluciones.

En el presente trabajo, al extraer el carragenano mediante tratamiento alcalino (fase cistocárpica), el rendimiento disminuyó, en promedio, 60 %. Sin embargo, la fuerza de gel aumentó un 1618 %: de 37.77 a 611.1 g cm⁻² (muestra de verano) (tabla 4). De esta manera, el mejoramiento en la calidad del carragenano se debió principalmente al aumento en la fuerza de gel, así como a la reducción de impurezas. Esto último se deduce a partir de los resultados del análisis químico del carragenano nativo y el alcalino, ya que indican valores de concentración de sulfatos, concentración de 3,6-anhidrogalactosa e histéresis muy similares (tabla 4).

El rendimiento estacional de carragenano nativo de plantas cistocárpicas de *M. papillatus*, fluctuó entre 58.03 y 67.92 % (tabla 4). El valor más alto se encuentra por

arriba de los reportados para la fase cistocárpica de especies de la familia Gigartinaceae de la costa central de California, los cuales fluctúan entre 41.9 y 62.5 % (Abbott, 1980b). Zertuche-González (1996) presenta un listado de las especies de carragenofitas en México. El rendimiento de éstas fluctúa entre 37 y 69 %, y para *M. papillatus* es de 62 %. Waaland (1975) reporta un rendimiento del 52 % para *M. papillatus*, colectada en la costa del estado de Washington. En el presente estudio, el rendimiento de carragenano nativo de *M. papillatus*, no mostró una diferencia estacional significativa (tabla 4), y sus valores coinciden con los promedios reportados anteriormente.

Los valores de fuerza de gel de carragenano nativo de plantas cistocárpicas de *M. papillatus*, no mayores a 37.77 g cm⁻² (tabla 5), son similares a los valores más bajos reportados para la fase cistocárpica de especies de la familia Gigartinaceae de la costa central de California (Abbott, 1980b). La fuerza de gel del carragenano para dichas especies fluctúa entre 20 y 313 g cm⁻².

En *M. papillatus*, la diferencia entre la temperatura de fusión y la de gelificación (histéresis) fue de 10.5-11 °C en carragenano nativo, y 12-13 °C en el alcalino (tablas 4 y 5). Este comportamiento es más cercano al de carragenanos puros *kappa*, que presentan histéresis de 10 a 20 °C, que al de carragenanos *iota*, con histéresis < 5 °C (FMC, 1981 *in* Myslabodski, 1990).

Zertuche-González (1996) reúne los valores de algunas propiedades físicoquímicas del gel de algunas carragenofitas. El contenido de sulfatos fluctúa entre 21 y 33 %, y el de 3,6 Anhidrogalactosa, entre 0.6 y 27 %; los valores registrados para *M. papillatus* son de 26 % para sulfatos y de 20 % para 3,6 Anhidrogalactosa, los cuales son muy similares a los registrados para la misma especie en el presente

trabajo (25.46 y 24.15 %) (tabla 4).

El análisis comparativo de las propiedades físicas del carragenano nativo, entre las tres formas de *M. papillatus*, únicamente mostró diferencias significativas en la fuerza de gel: el valor más alto se obtuvo en la forma grande (cistocárpica) con 37.77 g cm^{-2} , y el más bajo en la forma chica con 10.28 g cm^{-2} (tabla 5). Respecto a la variación estacional en el rendimiento del carragenano alcalino, a pesar de que no se detectaron diferencias significativas, éste mostró su valor más bajo en verano (17.45 %), el cual casi se duplicó en invierno (31.57 %) (tabla 4). De la variación estacional de las propiedades físicoquímicas del carragenano alcalino, únicamente la fuerza de gel mostró diferencias significativas, con el valor mínimo de 553.28 g cm^{-2} en otoño, y el mayor de 864.3 g cm^{-2} en invierno (tabla 4).

En los espectros de infrarrojo de las muestras cistocárpicas de carragenano nativo y alcalino (fig. 11), la banda de absorción en la región de los 930 cm^{-1} indica la presencia del enlace éter C-O de la α -D-3,6-anhidrogalactosa; la banda en la región de los 845 cm^{-1} corresponde al grupo sulfato de la β -D-galactosa-4-sulfato. La banda débil de absorción a los 805 cm^{-1} corresponde a la señal de la α -D-3,6-anhidrogalactosa-2-sulfato, lo cual indica la presencia de un carragenano híbrido del tipo $\kappa(\iota)$ (Stancioff y Stanley, 1969 *in* Correa-Díaz *et al.*, 1990). Espectros similares se han observado en otros géneros de la familia Gigartinaceae, en los cuales el carragenano del tipo $\kappa(\iota)$ predomina en la fase gametofítica (McCandless *et al.*, 1983; Correa-Díaz *et al.*, 1990). Los espectros de infrarrojo de carragenanos extraídos bajo condiciones alcalinas, presentan una banda bien definida en la región de los 970 cm^{-1} , lo cual sugiere que los carragenanos menos sulfatados, o con mayor fuerza de gel, poseen mayor absorbancia en dicha región (Dawes *et al.*, 1977; Stancioff y Stanley, 1969 *in* Correa-

Díaz *et al.*, 1990).

Desde un punto de vista comercial, el carragenano alcalino de *M. papillatus* es susceptible de ser aprovechado al considerarse sus valores de fuerza de gel, los cuales fluctuaron entre 553.28 a 864.3 g cm⁻² (2 % gel, 1 % KCl) a lo largo del año (tabla 4). Entre las especificaciones para carragenano de uso alimenticio y con algunas aplicaciones médicas, se requiere una fuerza de gel cercana a los 800 g cm⁻² (2 % gel, 0.2 % KCl) (Metrowealth Investment Co.). Es importante mencionar que las especificaciones requeridas para los carragenanos en general, dependen del uso para el que estén destinados.

A pesar de que el rendimiento del carragenano disminuyó al ser tratado alcalinamente, a valores entre 17.45 y 31.57 % (tabla 4), éstos se encuentran dentro de valores comerciales (Arroyo, Com. Pers.²).

El punto de gelificación del carragenano de *M. papillatus* fue de 43-51°C en el carragenano nativo (tabla 5) y 61-62.5 °C en el alcalino (tabla 4). Temperaturas tan elevadas no permiten el uso de los carragenanos, en general, como medio microbiológico; además de que las concentraciones de sulfatos, características de estos polisacáridos, no constituyen un medio inerte para dicho fin. Sin embargo, los altos puntos de fusión, que en *M. papillatus* fueron de 54-62 °C en el carragenano nativo (tabla 5) y de 74-76 °C en el alcalino (tabla 4), es una de las características que le confiere a los carragenanos una aplicación en la industria alimenticia, al permitir la permanencia del estado de gel aún en temperaturas extremas.

² Instituto de Investigaciones Oceanológicas. U.A.B.C.

LITERATURA CONSULTADA

- Abbott, I. A. y G. J. Hollenberg. 1976. *Marine Algae of California*. Stanford University Press. Stanford, California. 827 pp.
- Abbott, I. A. 1980a. Seasonal Population Biology of Some Carrageenophytes and Agarophytes. Proceedings of a Symposium on useful algal. Abbott I. A., M. S. Foster y L. F. Eklun (editors). California Sea Grant College Program. Institute of Marine Resource. University of California, La Jolla, Ca. U.S.A. 228 pp.
- Abbott, I. A. 1980b. Some field and laboratory studies on colloid-producing red algae in Central California. *Aquatic Botany*. 8: 255-266.
- Aguilar-Rosas, L. E., R. Aguilar-Rosas, I. Pacheco-Ruíz, E. Borquez-Garces, M. A. Aguilar-Rosas y E. Urbieto-González. 1982. Algas de importancia económica de la región Noroccidental de Baja California, México. *Ciencias Marinas*. 8(1): 49-63.
- Alvarez-Borrego, J. y Alvarez-Borrego, S. 1982. Temporal and Spatial Variability of Temperature in Two Coastal Lagoons. *CALCOFI Rep.*, XXIII: 180-187.
- Arellano-Carbajal, F., I. Pacheco-Ruíz y F. Correa-Díaz. 1999. Variación estacional del rendimiento y calidad de agar de *Gracilariopsis lemaneiformis* (Bory) Dawson, Acleto et Foldvik, del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas* 25(1): 51-62.
- Avila, M. y K. Alveal. 1987. Ciclo de vida de *Mastocarpus papillatus* en el área de Concepción, Chile (Petrocelidaceae, Rhodophyta). *Invest. Pesq.* (Chile) 34:129-138.

- Bakum, A. 1973. Coastal Upwelling Indices, West Coast of North America. 1946-1971. NOAA. Tec. Rep. NMDS-SSRF-671. 103 pp.
- Ballesteros-Grijalva, G., Labastida-Woods, J. U. y Durazo-Beltrán, E. 1990. Abundancia de *Gigartina canaliculata* Harvey, en el Ejido Eréndira y Popotla, B. C. , México. Ciencias Marinas 16(1): 23-34.
- Ballesteros-Grijalva, G. 1992. Ecología de *Gigartina canaliculata* (Harvey) en Baja California, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas, UABC. Ensenada, B. C. México.
- Ballesteros-Grijalva, G., J. A. Zertuche-González y M. G. García-Lepe. 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.
- Bell, E. C. 1993. Photosynthetic response to temperature and desiccation of the intertidal alga *Mastocarpus papillatus*. Marine Biology 117:337-346.
- Bell, E. C. 1995. Environmental and morphological influences on thallus temperature and desiccation of the intertidal alga *Mastocarpus papillatus* Kützinger. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 191:29-55.
- Carrington, E. 1990. Drag and dislodgment of an intertidal macroalga: consequences of morphological variation in *Mastocarpus papillatus* Kützinger. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 139: 185-200.
- Correa-Díaz, F. 1996. Manual de Fitoquímica Marina. Facultad de Ciencias Marinas.

Universidad Autónoma de Baja California. México.

- Correa-Díaz, F., R. Aguilar-Rosas y L. E. Aguilar-Rosas. 1990. Infrared analysis of eleven carrageenophytes from Baja California, Mexico. Hydrobiologia 204/205:609-614.
- Cosson, J., E. Deslandes, M. Zinoun & A. Mouradi-Givernaud. 1995. Carrageenans and agars, red algal polysaccharides. Round, F. E. & Chapman, D. J. (eds.). Progress in Phycological Research. Biopress Ltd. 11:269-324.
- Craigie, J. S. y C. Leigh. 1978. Carrageenans and agars. In Handbook of Phycological methods. Physiological and Biochemical Methods. Hellebust, J. A. y J. S. Craigie (eds.) Cambridge University Press. 131 pp.
- Cháves de Ochoa, M. del C. 1975. Algunas condiciones de surgencia durante la primavera de 1974, para el área adyacente a Punta Banda, Baja California. Ciencias Marinas, 2(2):111-124.
- Dawson, E. Y. 1951. A further study of upwelling and associated vegetation along Pacific Baja California, México. J. Mar. Res. 10 (1): 39-58.
- Doty, M. S. 1987. The Production and use of *Eucheuma*. In: Case Studies of Seven Commercial Sea Weed Resources. FAO. Fish. Tech. Paper 281:123-163.
- Fernández, M. E. y J. Aldeco-Ramírez. 1981. Estudio de algunos parámetros hidrológicos en una zona costera del Ejido Eréndira, B. C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B. C. México.

- García-Lepe, M. G., G. Ballesteros-Grijalva, J. A. Zertuche-González y A. Chee-Barragán. 1997. Variación anual de talla y fenología reproductiva del alga roja *Chondracanthus canaliculatus* (Harvey) Guiry en Punta San Isidro, Baja California, México. Ciencias Marinas. 23(4): 449-462.
- Guadarrama-Villalobos, M. G. 1998. Porciento de cobertura, talla y estado reproductivo del alga roja *Chondracanthus spinosus* (Kützinger) Guiry en Punta Cabras, B. C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. México. 33 pp.
- 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. Facultad de Ciencias Marinas, UABC. Ensenada, B. C. México.
- McCandless, E. L., J. A. West y M. D. Guiry. 1983. Carrageenan Patterns in the Gigartinaceae. Biochemical Systematics and Ecology 11(3):175-182.
- McHugh, D. J. (ed.) 1987. Production and utilization of products from commercial seaweeds. FAO Fish. Tech. Pap. 288:189 p.
- McHugh, D. J. 1991. Worldwide distribution of commercial resources of seaweeds including *Gelidium*. Hydrobiologia 221:19-29.
- 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. pp. 16-39. *In*: Contribuciones

- biológicas y tecnológico-pesqueras. Documento Técnico Informativo No. 3. Secretaría de Pesca, INP, CRIP, Ensenada, Baja California. 110 pp.
- Murray, S. N. & M. H. Hom. 1989. Seasonal Dynamics of Macrophyte Populations from an Eastern North Pacific Rocky-intertidal Habitat. Botanica Marina 32:457-473.
- Myslabodski, D. E. 1990. Red-Algae Galactans: Isolation and recovery procedures-effects on the structure and rheology. ¿Thesis of Doktor Ingeniør? Division of Biotechnology. Norwegian Institute of Technology. Trondheim, Norway.
- Pacheco-Ruiz I., Z. García-Esquivel y L. E. Aguilar-Rosas. 1989. Spore discharge in the carragenophyte *Gigartina canaliculata* Harvey (Rhodophyta, Gigartinales). J. Exp. Mar. Ecol. 126:293-299.
- Phillips, E. J. y A. Mitsui. 1982. Temperature Preference and Tolerance of Aquatic Photosynthetic Macroalgae. In: Zaborsky, O. R., A. Mitsui & C. C. Black (eds.). CRC Handbook of Biosolar Resources. Volume 1, Part 2. Basic Principles. CRC Press. Florida, U.S.A. 657 pp.
- Polanshek, A. R. y J. A. West. 1977. Culture and Hybridization studies on *Gigartina papillata* (Rhodophyta). J. Phycol. 13:141-149.
- Rochas, C., Rinaudo, M. & Landry, S. 1989. Relation Between the Molecular Structure and Mechanical Properties of Carrageenan Gels. Carbohydrate Polymers 10:115-127.
- Tabatabai, M. A. 1974. Determination of Sulphate in Water Samples. Sulphur Institute Journal: 11-13.

- Underwood, A. J. 1997. *Experiments in Ecology*. Cambridge University Press. 504 pp.
- Waaland, J. R. 1975. Differences in carrageenan in gametophytes and tetrasporophytes of red algae. Phytochemistry 14:1359-1362.
- Waaland, J. R. 1981. Commercial Utilization. *In*: Lobban & Wynne. *The Biology of Seaweeds*. Univ. Cal. U.S.A.
- Zar, J. H. 1996. *Biostatistical Analysis*. 3th ed. Prentice Hall. U.S.A.
- Zertuche-González, J. A. 1993. Situación actual de la industria de las algas marinas productoras de ficocoloides en México. *In*: Zertuche-González, J. A. (ed.). Situación Actual de la Industria de Macroalgas Productoras de Ficocoloides en América Latina y El Caribe. FAO documento de campo. PROYECTO AQUILA II. México, D. F. 13:33-38.
- Zertuche-González, J. A. 1996. Feasibility for the establishing a carrageenan industry in Mexico. Hydrobiologia 326/327: 381-386.
- Zupan, J. R. y J. A. West. 1988. Geographic variation in the life history of *Mastocarpus papillatus* (Rhodophyta). J. Phycol. 24:223-229.