

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



VARIACIÓN EN EL RENDIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS
DEL AGAR DE *Gelidium robustum* (Gardner) Hollenberg y Abbott
(Gelidiales, Rhodophyta) EN LOS PRINCIPALES MANTOS
COMERCIALES DE LA COSTA OCCIDENTAL DE LA
PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA.

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

OCEANÓLOGO

PRESENTA

MIGUEL ÁNGEL HURTADO OLIVA



ENSENADA, B.C.

ENERO DE 2002.

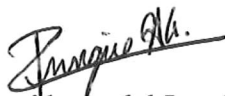
VARIACIÓN EN EL RENDIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DEL AGAR
DE *Gelidium robustum* (Gardner) Hollenberg y Abbott (Gelidiales,
Rhodophyta) EN LOS PRINCIPALES MANTOS COMERCIALES DE LA
COSTA OCCIDENTAL DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA.

T E S I S

QUE PRESENTA :

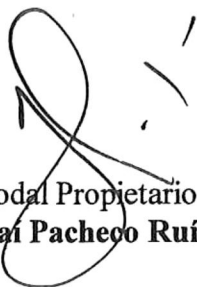
Miguel Ángel Hurtado Oliva

APROBADA POR :

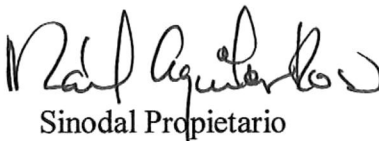


Presidente del Jurado

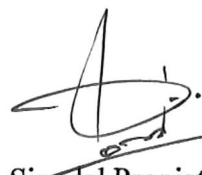
M.C. Enrique Hernández Garibay



Sinodal Propietario
Dr. Isai Pacheco Ruiz.



Sinodal Propietario
Oc. Raúl Aguilar Rosas.



Sinodal Propietario
Oc. David Lora Sánchez.

Ensenada, Baja California, Enero del 2002.

RESUMEN

Se realizó una comparación del rendimiento y calidad del agar en muestras de *Gelidium robustum* (Gardner) Hollenberg y Abbott provenientes de los principales mantos de cosecha comercial de la costa occidental de la península de Baja California (Bahía Todos Santos, El Rosario, Punta Eugenia, Isla de Cedros, Islas San Benito y Bahía Asunción). La calidad del agar nativo se determinó a partir de análisis fisicoquímicos: cuantificación de 3,6-anhidrogalactosa, grupos sulfatos, fuerza de gel, temperaturas de fusión y gelificación. Así mismo se determinó la cantidad de nitrógeno proteico contenido en los tejidos de *G. robustum*. Se encontraron diferencias significativas en el contenido y calidad del agar en las muestras analizadas de las diferentes zonas. Bahía Todos Santos, El Rosario, Isla de Cedros e Isla San Benito mostraron los rendimientos más altos, mientras que Punta Eugenia y Bahía Asunción los más bajos. Un porcentaje importante de agar se obtuvo con una segunda extracción (4-10%). El intervalo en el contenido de 3,6-anhidrogalactosa fue de 35 a 40%, donde Isla de Cedros tuvo el mayor contenido y Punta Eugenia el más bajo. Diferencias significativas se encontraron en el contenido de grupos sulfatos, donde El Rosario mostró el valor más alto (4%) y el más bajo Isla de Cedros (1.3%). Se encontró una correlación negativa significativa entre el contenido de grupos sulfatos y fuerza de gel. Los dos métodos empleados para determinar la fuerza de gel son equivalentes al dividir los resultados obtenidos del método de la balanza de dos platos entre 2.15 para obtener unidades Nikkan. La temperatura de gelificación varió entre los 33 y 36°C, mientras que el intervalo de la temperatura de fusión es de 92 a 95°C. Se presentó una correlación negativa entre el contenido de nitrógeno proteico y el rendimiento. La mayor calidad del agar corresponde a las muestras de Isla de Cedros, Islas San Benito y Bahía Asunción.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Baja California y a la Facultad de Ciencias Marinas por estos años de experiencias, retos, fracasos y metas logradas.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas (I.I.O.) por las facilidades otorgadas para la realización de esta tesis.

A mi director, M.C. Enrique Hernández Garibay por su gran apoyo y disposición incondicional en todo momento para la realización de esta tesis.

Al Dr. José Zertuche González responsable del proyecto CONACYT “Desarrollo del cultivo de algas marinas de valor comercial (28069-B)”, por la beca otorgada.

Al Dr. Isai Pacheco Ruíz, sinodal de esta tesis, por al beca otorgada y sus acertadas sugerencias para la realización de este trabajo.

A mis sinodales, Oc. Raúl Aguilar y Oc. David Lora por sus valiosas y acertadas observaciones, así como por el tiempo dedicado a mejorar la calidad de esta tesis.

Al extraordinario equipo de macroalgas del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (I.I.O.), Pepe Guzmán, Alberto, Edgar, Raquel, Dr. Alejandro Cabello, Profesora Lupita y Guillermo.

A la Dra. Ma. Teresa Viana, M.C. Roberto Escobar y Marco por su apoyo.

Al Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada (C.R.I.P.) por las facilidades y apoyo otorgados.

Al Oc. David Lora y a la empresa AGARMEX S.A. de C.V. quienes otorgaron las muestras.

A Dios y el Universo por su inmensa belleza.

A mis Padres:

Miguel y Yolanda por su ejemplo, fortaleza y continua motivación.

A mi hermano:

Gabriel, tu extraordinaria tenacidad siempre me motivo a seguir adelante.

A Claudia:

Por estar siempre ahí, en los mejores momentos de mi vida.

A mis abuelos:

† Francisco y Petra, este éxito es en gran parte de ustedes también.

A mis amigos:

Javier, Ricardo, Raúl, David, Enrique, Chelino, Benito, Pany, Jamnia, Evelyn, Georgina y Adria por su aprecio y extraordinaria amistad.

A mis compañeros:

51 Generación (Orcas), por los tiempos compartidos en estos 5 años.

CONTENIDO

	PÁGINA
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	4
III. HIPÓTESIS	9
IV. OBJETIVO	10
V. MATERIALES Y MÉTODOS	
V.1. Área de estudio	11
V.2. Colecta y selección del material biológico	13
V.3. Extracción del agar	14
V.4. Cuantificación de 3,6-anhidrogalactosa	14
V.5. Cuantificación de ésteres sulfatos	15
V.6. Nitrógeno proteico total	15
V.7. Nitrógeno no proteico	15
V.8. Fuerza de gel	16
V.9. Temperaturas de fusión y gelificación	17
V.10. Manejo estadístico de los datos	17
VI. RESULTADOS	
VI.1. Rendimientos	18
VI.2. 3,6-Anhidrogalactosa	19
VI.3. Contenido de ésteres de sulfato	19

VI.4. Contenido de nitrógeno proteico y no proteico	20
VI.5. Fuerza de gel	21
VI.6. Temperatura de fusión y gelificación	21
VI.7. Correlación de variables	22
VII. DISCUSIÓN	
VII.1. Rendimiento	25
VII.2. Contenido de 3,6-anhidrogalactosa y grupos de éster sulfato	28
VII.3. Fuerza de gel	30
VII.4. Nitrógeno total y nitrógeno proteico	32
VII.5. Temperatura de fusión y gelificación	32
IX. BIBLIOGRAFÍA	35

LISTA DE FIGURAS

Figura No.		PÁGINA
1	a) Estructura idealizada del agar y posiciones comunes de grupos metilos (CH_3); b) β -D-Galactopiranososa con substituyente de ácido pirúvico; c) α -L-Galactopiranososa 6 sulfato “unidad precursora” de 3,6-anhidrogalactosa (Falshaw <i>et al.</i> , 1999).	3
2	Área de estudio	12
3	Porcentaje de sulfatos y 3,6-AG en <i>G. robustum</i> .	19
4	Porcentaje de nitrógeno proteico t. y rendimiento en <i>G. robustum</i> .	20
5	Fuerza de gel (g cm^{-1}) en muestras de agar de <i>G. robustum</i> .	21

LISTA DE TABLAS

Tabla No.		PÁGINA
I	Porcentaje de extracción de agar de <i>G. robustum</i> (peso seco) de los 6 campos de cosecha.	18
II	Resultados de la caracterización química y física del agar de <i>Gelidium robustum</i> .	23
III	Matriz de coeficientes de correlación entre variables o índices de calidad del agar en <i>Gelidium robustum</i> .	24

I. INTRODUCCIÓN

El agar-agar es una palabra de origen malayo que significa “gelatina” y actualmente se usa para nombrar al grupo de coloides hidrofílicos que se extraen de la pared celular de ciertas especies de macroalgas de la clase Rhodophyceae (Dawes, 1991). En general, los ficocoloides como el agar, los carragenanos y el ácido alginico, se encuentran en cantidades relativamente altas en algas rojas y pardas. Estos presentan características hidrocoloidales y por ello se utilizan principalmente en la industria alimenticia, farmacéutica, textil (espesante), agentes de gelación, suspensión, estabilizador de emulsiones, clarificante de licores y cervezas, retardante en la liberación de medicamentos, así como en la elaboración de medios de cultivo bacteriológico (Selby y Wynne, 1973).

El agar, el ácido alginico y el carragenano son polianiones que se encuentran en la matriz de la pared celular de las algas marinas, dándole a la planta la flexibilidad y flotabilidad requeridas, ya que se encuentran en ella en forma de gel (Percival y McDowell, 1967; Haug, 1974). Por su carga con carácter negativo, actúan como intercambiadores catiónicos con el medio ambiente marino y generalmente se les encuentra unidos selectivamente a diferentes cationes con los que forma sustancias insolubles (Haug, 1974).

Respecto del agar, este se obtiene principalmente de las algas rojas de las familias Gelidiaceae, Gracilariaceae y Ahnfeltiaceae.

El agar es una mezcla compleja de macromoléculas que abarca desde la agarosa neutra (metilada) hasta la agarosa iónica (agaropectina) la cual puede estar sulfatada o piruvatada (Armisen y Galatas, 1987).

La agarosa es la fracción neutra con capacidad gelificante y bajo contenido de grupos iónicos; mientras que la agarpectina es la fracción con alto contenido de grupos iónicos y baja capacidad gelificante (Araki, 1944).

Químicamente la agarosa se define como un polímero lineal compuesto por la sucesión de dos unidades alternantes; β -D-Galactosa (unidades A) y α -L-3,6-Anhidrogallactosa (unidades B) con enlaces 1-3 y 1-4 respectivamente (Araki, 1966) (Fig.1a).

La agarpectina es una mezcla de polisacáridos que contiene D-galactosa, 3,6-anhidrogallactosa-L-galactosa y ésteres de sulfato (Fig.1c) que pueden llegar hasta un 5%; ácido D-glucurónico y ácido pirúvico (Armisen y Galatas, 1987) (Fig. 1b).

Funcionalmente la agarosa es la fracción que le da a los polímeros del agar la capacidad de conformar hélices dobles y por agregación de ésta, formar la red tridimensional que inmoviliza al agua y produce el estado de gel (Arnott *et al.*, 1974).

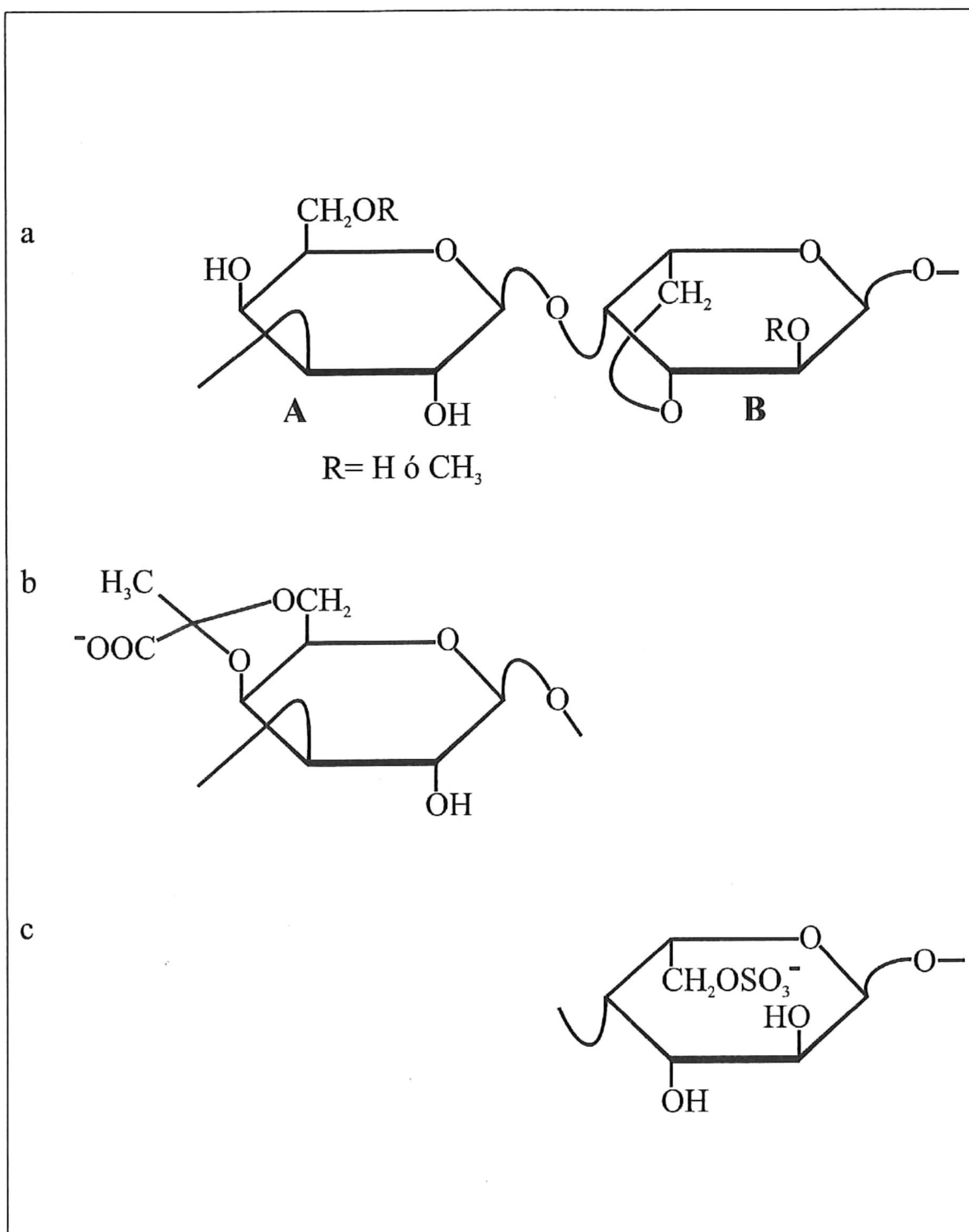


Figura 1. a) Estructura disacárida idealizada del agar y posiciones comunes de grupos metilos (CH₃); b) β -D-Galactopiranososa con sustituyente de ácido pirúvico; c) α -L-Galactopiranososa 6 sulfato “unidad precursora” de 3,6-anhidrogalactosa (Falshaw *et al.*, 1999).

II. ANTECEDENTES

A nivel mundial existen 101 géneros y 459 especies de algas marinas de valor comercial; sin embargo, sólo 11 géneros que incluyen 20 especies se cosechan comercialmente. En la costa occidental de Baja California se reportan 28 especies de importancia comercial (Aguilar-Rosas *et al.*, 1982), mientras que en la costa oriental de la península, en el Golfo de California, se reportan al menos 55 especies con potencial económico (Pacheco-Ruíz y Zertuche-González, 1996). De las cuales únicamente *Gelidium robustum* (Gardner) Hollenberg *et* Abbott, *Gracilariopsis lemaneiformis* (Bory) Dawson, Acleto *et* Foldvik, *Macrocystis pyrifera* (L. Agardh) y *Chondracanthus canaliculatus* (Harvey) Guiry se comercializan y su producción radica básicamente en la explotación racional de los mantos naturales (Zertuche-González, 1993).

Las agarofitas más importantes a nivel mundial son los géneros *Gracilaria*, *Gelidium*, *Pterocladia* y *Gelidiella*; de las cuales la producción mundial se estima en 48,340 t secas, con la siguiente composición: *Gracilaria* 53%, *Gelidium* 44% y *Pterocladia* y *Gelidiella* 3% (McHugh, 1991).

En México, la empresa Agarmex cosecha desde 1956 en la costa de Baja California el alga roja *G. robustum*, materia prima que se procesa en la ciudad de Ensenada para la producción industrial de agar (Zertuche-González, 1993).

G. robustum se distribuye en la costa occidental de Norteamérica, desde el sur de Columbia Británica (Canadá) hasta Bahía Magdalena (México) (Guzmán del Prío y S.

de la Campa, 1978). El alga es característica de sustrato duro y su distribución en el sistema litoral es desde el límite inferior de marea baja hasta los 17 m de profundidad, donde los cambios de luz y temperatura son muy reducidos y la desecación nunca ocurre (Johnstone y Feeney, 1944; Molina-Martínez, 1986); forma densos mantos en hábitats sombreados y es común encontrarle asociada a mantos de *M. pyrifera* (Guzmán del Prío *et al.*, 1974; Abbott y Hollenberg, 1976). Presenta alternancia de generaciones donde los estadios sexual y asexual son isomórficos, además de reproducción vegetativa (Santelices, 1974).

La producción mundial de agar emplea diferentes materias primas, de las cuales dependen las características del producto final. En general, el contenido y calidad del agar en diversas agarofitas es afectado por diferentes factores ambientales que modifican la fisiología y bioquímica del alga. Por ejemplo, la cantidad y calidad del agar en algunas algas varía de acuerdo a su fase reproductiva (Kim y Enriquez, 1978; Lahaye y Rochas, 1991), así como a los parámetros abióticos (temperatura, nutrientes, luz, etc.) del medio ambiente donde se desarrollen (Armisen, 1992) y a los métodos de extracción-purificación que aplique el productor (Armisen, 1993; Lahaye y Rochas, 1991).

Es común encontrar diferencias en el rendimiento y calidad del agar en agarofitas. Oza (1978) localizó en *Gracilaria corticata* (J. Ag.), diferencias estacionales en el rendimiento y fuerza de gel. Yang y Wang (1983), reportan diferencias estacionales en la fuerza de gel para una especie de *Gracilaria verrucosa* (Huds.) en China; mientras que Pondevida y Hurtado-Ponce (1996) mencionan que la localidad o

zona geográfica influyó en el rendimiento y la calidad de los agares de *Gracilaria changii* (Xia et Abbott) Abbott, Zhang et Xia, *Gracilaria manilaensis* (Yamamoto et Trono) y *Gracilariopsis bailinae* (Zhang et Xia).

Bird y Hinson (1992) reportan ligeras variaciones estacionales en rendimiento de agar de *Gracilaria blodgettii* (Harvey), *Gracilaria tikvahiae* (McLachlan) y *Gelidium pusillum* (Stackh.) en Kure Beach, North Carolina. Sin embargo, las variaciones en la fuerza de gel son más notorias, aunque se le atribuyen a la variabilidad específica de las especies y no al efecto del ambiente. En *G. lemaneiformis* del Golfo de California, Arellano-Carbajal et al., (1999) encontraron una marcada diferencia estacional en el rendimiento y calidad del agar, coincidiendo el mayor rendimiento con la máxima biomasa de invierno, mientras que la mayor fuerza de gel se encontró en primavera y la menor en otoño.

Mouradi et al., (1992) encontró en *Gelidium latifolium* (Bornet) de Francia, una marcada variación estacional en la composición química y propiedades físicas del agar con mayores rendimiento y fuerza de gel en invierno que en primavera. Por otra parte Onraët y Robertson (1987) no encontraron diferencias estacionales a lo largo de un año en el contenido de agar entre esporofitos y gametófitos de *Gelidium pristoides*.

Sin embargo para la misma especie Carter y Anderson (1986) obtuvieron un rendimiento del 30% en invierno y un máximo de 48% en verano.

Espinoza-Avalos y Rodríguez-Garza (1992), reporta en *G. robustum* de Baja California variaciones del 31 al 51% en el rendimiento, así como en la calidad del agar de esta especie con respecto a la localidad geográfica.

Hoyle (1978a) no encontró diferencias en el rendimiento y fuerza de gel en el agar de *Gracilaria bursapastoris* (Gmelin) Silva y *Gracilaria coronopifolia* (J. Ag) en sus diferentes fases reproductivas.

De igual manera los parámetros físicos y nutricionales afectan el contenido y calidad del agar, ya que se ha visto que al incrementarse el contenido de nitrógeno proteico en el tejido del alga, disminuye el rendimiento de agar, pero se incrementa la fuerza de gel (Lahaye y Rochas, 1991). Así mismo, Hoyle (1978b) encontró que los períodos de gran crecimiento en *G. bursapastoris* y *G. coronopifolia*, correspondían a altos niveles de proteínas en las algas y poca producción de agar. Bird *et al.*, (1981) determinaron que el incremento en el contenido de nitrógeno proteico en los tejidos de *Gracilaria tikvahiae* (McLachlan) cultivada en estanquería disminuye el contenido de agar e incrementa la temperatura de fusión y la fuerza de gel.

La respuesta de algunas agarofitas al incremento en la temperatura del agua de mar, es que el contenido 3,6-anhidrogalactosa disminuye así como la fuerza de gel, mientras que el de sulfatos aumenta (Craigie y Wen, 1984; Lahaye y Rochas, 1991).

En cuanto a la edad del tejido, se observó que el tejido joven de *Gracilaria conferta* presenta mayor cantidad de 3,6-anhidrogalactosa (3,6-AG) que el viejo en donde se reporta mayor cantidad de grupos sulfatos y metilos (Friedlander *et al.*, 1987).

En *G. pristoides* se encontró una correlación positiva entre el crecimiento de las ramificaciones de la planta y el rendimiento de agar (Carter y Anderson, 1986).

Freile-Pelegrín *et al.*, (1999) detectan que la cantidad de briozooarios epizooos (“conchilla”) y la estación de colecta afecta el rendimiento (13 a 21%) de agar en *G.*

robustum de la parte central de la península de Baja California. Sin embargo, las características fisicoquímicas del gel, tanto de esta especie como en otras, no se modifican por la cobertura de estos organismos epizoos (Freile-Pelegrín *et al.*, 1995, 1996, 1999). Cabe mencionar que en *G. robustum* se encontró estacionalidad en el rendimiento de agar que se obtuvo de un manto sin explotación comercial en el cual la recurrencia de “conchilla” fue mínima.

Dada la sistemática explotación comercial de *G. robustum* en la costa occidental de Baja California y el escaso conocimiento de los cambios en las propiedades y características fisicoquímicas del agar respecto a la época y localidad de cosecha hacen de este trabajo una aportación útil en el conocimiento general y en el aprovechamiento industrial de este importante ficocoloide.

III. HIPÓTESIS

Existen variaciones en el contenido y calidad del agar de *Gelidium robustum* respecto a la localidad geográfica.

Existe una correlación negativa del contenido y calidad del agar de *Gelidium robustum* con el contenido de nitrógeno proteico en el tejido algal.

IV. OBJETIVO

Objetivo general.

- Determinar el rendimiento y calidad del agar de *G. robustum* en seis zonas de cosecha comercial en Baja California.

Objetivos particulares.

- Determinar el contenido de 3,6-anhidrogactosa, sulfatos y evaluar las propiedades físicas (fuerza de gel, punto de fusión y punto de gelificación) del agar de *G. robustum* en cada zona.
- Cuantificar el contenido de nitrógeno proteico y no proteico en plantas de *G. robustum* de cada zona.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

V.1. Área de estudio.

La península de Baja California, se encuentra en el litoral del Pacífico mexicano el cual cubre una extensión de ≈ 1200 km (Rzedowski, 1978). Se localiza entre los $32^{\circ} 40'$ y 23° N y 117° y 109° W (Fig. 2). La costa occidental de la península se caracteriza por ser una zona rocosa y de acantilados desde la frontera con Estados Unidos de Norteamérica hasta aproximadamente el paralelo 27° N, con algunas playas arenosas. Hacia el Sur del paralelo 27° N, predominan playas arenosas con esporádicas puntas rocosas (Espinoza-Higuera, 1992). La zona es influenciada principalmente por aguas frías ricas en nutrientes, producto de la corriente de California que se dirige de Norte a Sur. Por esto, la costa occidental de Baja California muestra fenómenos de surgencia cuando los vientos dominantes del Norte y Noroeste son fuertes, generalmente entre abril y junio (Reid *et al.*, 1958; Sverdrup *et al.*, 1970; Thurman, 1978; Hernández-Vázquez, 1995) causando zonas de ambientes fríos a templados con altas concentraciones de nutrientes que son aprovechados por la flora para extender su distribución (Dawson, 1951).

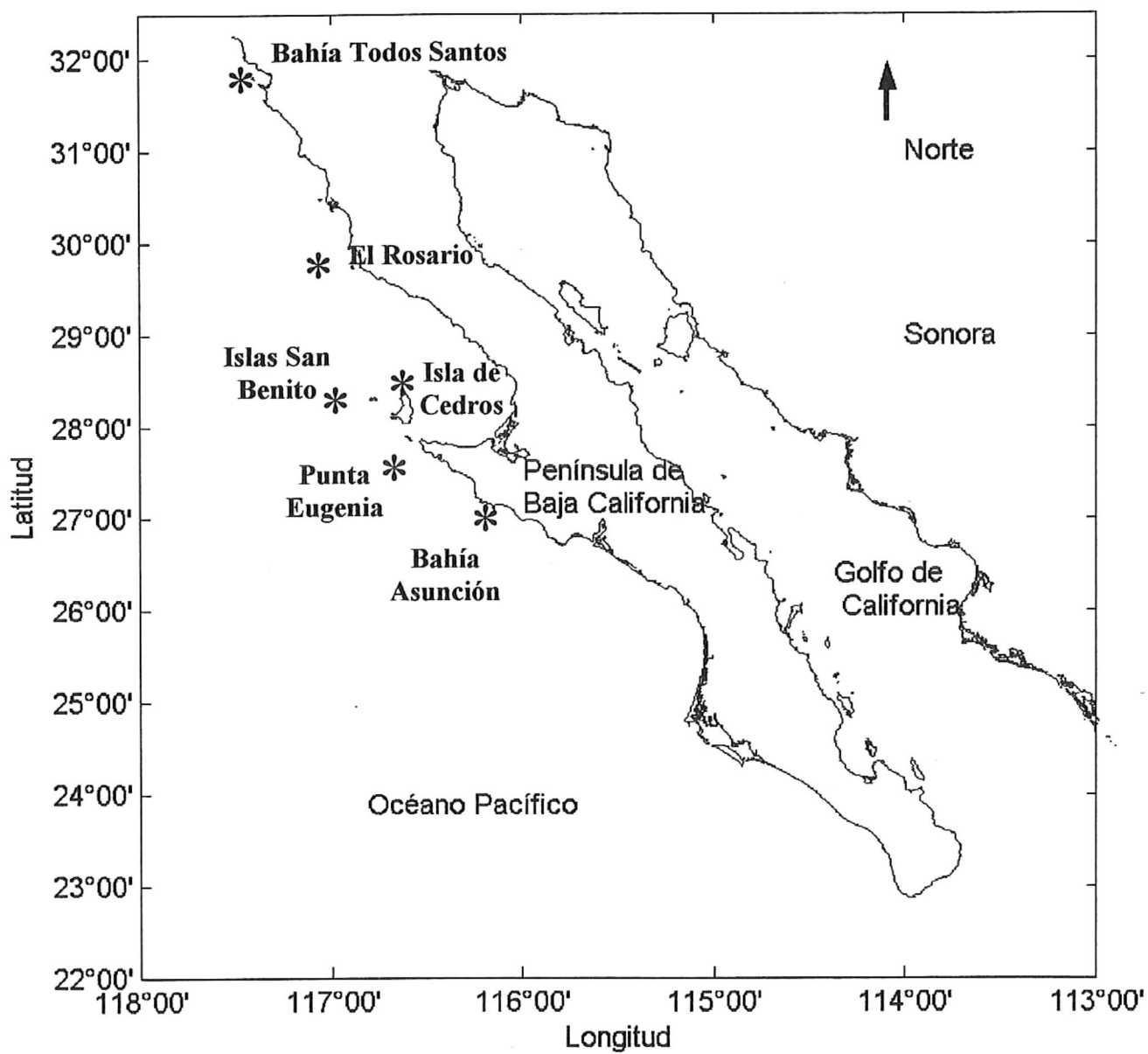


Fig. 2 Localización de los principales mantos de cosecha de *G. robustum* de la península de Baja California.

V.2. Colecta y selección del material biológico.

Ejemplares de *G. robustum* provenientes de 6 localidades de cosecha comercial (Bahía de Todos Santos, El Rosario, Punta Eugenia, Isla de Cedros, Islas San Benito y Bahía Asunción) fueron proporcionados por la empresa Agarmex (Fig. 2). En el campo las plantas se cosecharon mediante buceo comercial semi autónomo tipo “Hooka” entre las profundidades de 5 a 10 brazas (10 a 20 m). El material, posteriormente se secó al sol y se embolsó en pacas de 80 a 100 Kg para su envío a la Ciudad de Ensenada, B.C (Empresa Agarmex) donde se almacenó para su posterior uso en la extracción industrial de agar comercial.

De las pacas de cada localidad de cosecha se tomaron ≈ 500 g secos de muestra, correspondientes a verano del año 2000. El género y la especie de las muestras se verificó mediante comparación con ejemplares tipo herborizados.

En forma manual se retiró toda la fauna y flora de acompañamiento visibles tales como otras especies de macroalgas, cangrejos, zooplancton, coral, esponjas, rocas pequeñas, arena, así como los briozooarios (*conchilla*) adheridos a las plantas.

Las algas limpias se molieron y tamizaron hasta obtener partículas homogéneas en tamaño (28 mesh ó 0.595 mm). Posteriormente se secaron en una estufa de convección a 60°C hasta peso constante.

V.3. Extracción del agar.

Para la extracción del agar se utilizó el método de Craigie y Leigh (1978), con una modificación. Las muestras de alga molida se remojaron por 12 horas en una solución amortiguadora o *buffer* de fosfato de sodio (0.1 M) a pH de 6.3 en una proporción sólido: líquido de 1:60. Transcurrido el tiempo de reposo el material se agitó y colocó en una autoclave a 120 °C por una hora. El extracto caliente se filtró a vacío con tierra de diatomeas. Se enfrió hasta su gelificación y el agar se recuperó por congelado y descongelado. El exceso de agua e impurezas se drenó y el material se lavó con etanol al 70 % y concentrado respectivamente. Posteriormente, se secó a 60 °C hasta peso constante.

El residuo se reextrajo con la misma solución amortiguadora o *buffer* en una proporción de 1:10 bajo las condiciones de extracción, recuperación, lavado y secado descritas.

V.4. Cuantificación de 3,6-anhidrogalactosa.

La 3,6-anhidrogalactosa se determinó por el método colorimétrico de resorcinol-acetal descrito por Yaphe y Arsenault (1965), modificado por Craigie y Leigh (1978). Se usó D-fructosa como estándar para la curva de calibración y el resultado se multiplicó por un factor de corrección de 1.087.

V.5. Cuantificación de ésteres de sulfato.

Los sulfatos se estimaron por el análisis turbidimétrico de formación de sulfato de bario (Tabatabai, 1974) con las modificaciones propuestas por Craigie y Wen (1984). El contenido de sulfatos se determinó mediante una curva de calibración empleando sulfato de potasio (K_2SO_4) como estándar.

V.6. Nitrógeno proteico total.

Para determinar el nitrógeno proteico total en el tejido de las algas, se empleó el método Micro Kjeldahl (A.O.A.C., 1984) y se utilizó un factor de conversión de nitrógeno a proteína de 6.25, siguiendo lo establecido por la A.O.A.C.(1990). A partir de este se hace una corrección para obtener el valor real de proteínas, restando el nitrógeno no proteico.

V.7. Nitrógeno no proteico.

Para calcular el nitrógeno no proteico se utilizó el método descrito por Tejada de Hernández (1992). 0.1 a 0.2 g de tejido algal molido se dejó reposar y se tamizó a un tamaño de 28 mesh (0.595 mm) en 5 ml de ácido clorhídrico (HCl) 0.05 N por dos horas. Posteriormente se homogenizó la muestra y se le agregó 10 ml de ácido tricloroacético y se agitó por 10 minutos. Posteriormente, se dejó reposar en el refrigerador por una noche. Al día siguiente se agitó y filtró al vacío, obteniendo una solución clara. De la cual se tomaron 5 ml para su digestión, destilación y titulación por el método Micro Kjeldahl (A.O.A.C., 1984).

V.8. Fuerza de gel

Para la medición de la fuerza de gel se emplearon dos métodos:

- 1) Modificación del método propuesto por Miller y Furneaux (1987). La fuerza de gel se expresó como la carga máxima requerida para romper la matriz del gel en la vecindad inmediata de la carga aplicada. Se determinó por medio de una balanza de dos platos y un émbolo de 0.5 cm de diámetro ó 0.196 cm² de área; el peso se registró con una balanza digital. El incremento de peso se logró al añadir agua destilada a razón de ≈ 200 g min⁻¹.
- 2) Gelómetro Nikkan (Hispanoagar, 1967). Se determinó como la carga máxima que soporta el gel por un periodo de tiempo de 20 seg., empleando un émbolo de 1 cm².

Los geles se prepararon al 1.5% w/w al disolver agar molido y seco en agua destilada. El agar en solución se sometió a ebullición con reflujo por 15 minutos; cuando fue necesario se agregó agua para compensar la evaporación. La solución caliente (5 g) se vertió en vasos de precipitados de 10 ml (por triplicado) para el método de la balanza y en cajas de petri de 12 cm de diámetro a una altura de gel 0.5 cm para el método Nikkan, posteriormente se dejaron enfriar a temperatura ambiente hasta su gelificación. Ambos tipos de gel se colocaron boca abajo para prevenir la desecación superficial y se dejaron reposar toda la noche.

V.9. Temperaturas de fusión y gelificación.

Las temperaturas de fusión y gelificación se determinaron por el método descrito por Armisen (1993).

V.10. Manejo estadístico de los datos.

A los resultados de cada una de las variables se les aplicó un análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0.05$) y una prueba de comparaciones múltiple no paramétrica ($\alpha = 0.05$). La fuerza de gel se correlacionó con el rendimiento de agar y otras variables por medio de una prueba de correlación de Spearman ($\alpha = 0.05$) (Zar, 1986). Para todos los análisis se utilizó el paquete STATISTICA para Windows® versión 5.0 (Statsoft, Inc., Tulsa, USA).

VI. RESULTADOS

VI.1. Rendimientos.

Se encontraron diferencias significativas ($H=15.08$, $p = 0.01$) en los rendimientos totales (extracción + reextracción de agar), entre los diferentes campos de cosecha. Punta Eugenia y Bahía Asunción, mostraron los menores rendimientos, mientras que Bahía de Todos Santos, El Rosario, Isla de Cedros e Islas San Benito, los mayores rendimientos (Tabla I).

Se encontraron diferencias significativas ($H=15.84$, $p = 0.0073$) en el agar que se obtuvo en la segunda extracción. El valor más pequeño se encontró en El Rosario(3.77%) y el mayor en Isla de Cedros (9.9%) (Tabla I).

El rendimiento fluctuó entre 24 y 32%, mientras que la reextracción entre 4 a 10% (Tabla I).

Tabla I. Porcentaje de extracción de agar de *G. robustum* (peso seco) de los 6 campos de cosecha.

Campo	Humedad	Conchilla	Extracción	Reextracción	Total
Bahía de Todos Santos	13.0 ± 0.2	18.6 ± 7.2	31.4 ± 0.7	5.2 ± 0.7	36.6 ± 0.1
El Rosario	12.5 ± 1.7	17.2 ± 1.3	32.0 ± 0.3	3.8 ± 0.4	35.8 ± 0.5
Punta Eugenia	7.6 ± 0.9	14.4 ± 2.5	23.9 ± 0.8	6.9 ± 0.3	30.7 ± 0.5
Isla de Cedros	10.2 ± 0.7	11.2 ± 2.6	26.4 ± 1.1	9.9 ± 0.7	36.3 ± 0.4
Islas San Benito	8.3 ± 0.3	34.8 ± 8.4	26.8 ± 1.1	8.3 ± 0.5	35.1 ± 0.7
Bahía Asunción	9.5 ± 1.5	25.5 ± 0.1	24.5 ± 0.6	6.7 ± 0.7	31.1 ± 0.2

- ± = desviación estándar.
- % Total corregido por humedad y conchilla

VI.2. 3,6-Anhidrogalactosa.

Se encontraron diferencias significativas ($H=43.00$ y $p = 0.01$) en el contenido de 3,6-anhidrogalactosa entre las muestras de El Rosario, Isla de Cedros, Punta Eugenia e Islas San Benito; en Bahía de Todos Santos y Bahía Asunción no se detectó diferencia significativa. El intervalo en el contenido de 3,6-anhidrogalactosa fue entre 35 y 40%. El mayor valor se detectó en Isla de Cedros (40.0 ± 1.0) y el menor en Punta Eugenia (35.5 ± 1.1) (Tabla II).

VI.3. Contenido de ésteres de sulfato.

Se encontraron diferencias significativas ($H =125.82$, $p = 0.01$) en el contenido de grupos sulfatos en *G. robustum* entre las muestras de los campos de cosecha de Isla de Cedros, Islas San Benito, Bahía Asunción y el resto de ellos. Los valores más altos se encontraron en El Rosario (4 %) y Bahía de Todos Santos (2.5%), mientras que el más bajo en Isla de Cedros(1.3%)(Fig.3).

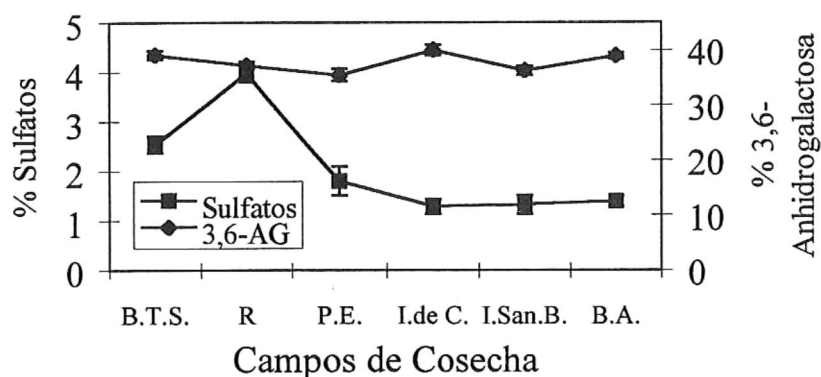


Fig. 3 Porcentaje de sulfatos y 3,6-AG en *G. robustum*.

VI.4. Contenido de nitrógeno proteico y no proteico.

Se encontraron diferencias significativas ($H=44.98$, $p=0.01$) en el contenido proteico de las muestras de Bahía de Todos Santos, El Rosario, Isla de Cedros e Islas San Benito; mientras que en Bahía Asunción y Punta Eugenia son estadísticamente similares. Estos dos campos muestran los valores más altos de nitrógeno proteico (18.9%) así como los rendimientos más bajos (30.7% y 31.3%, respectivamente) (Fig. 4).

El nitrógeno no proteico respecto al total se encontró en cantidades promedio de 0.20 % en la mayoría de los campos; Bahía Asunción mostró una cantidad particularmente pequeña de 0.06 %.

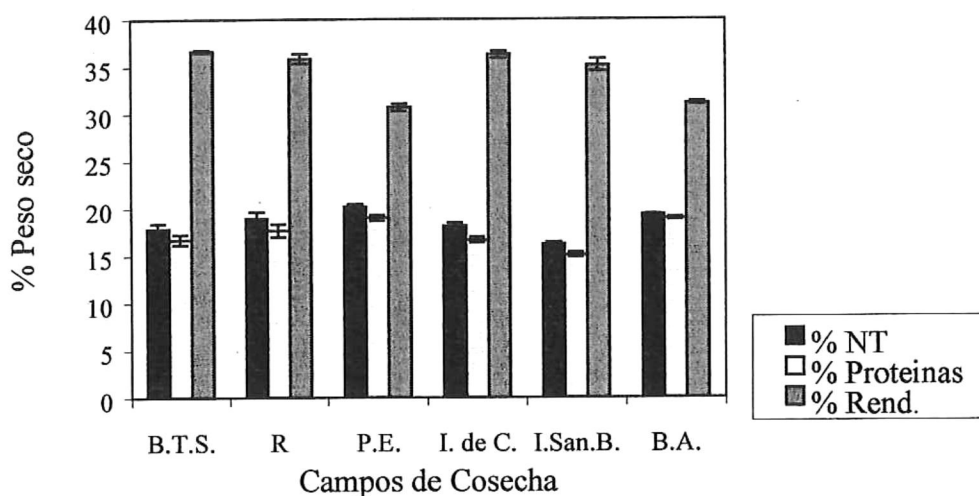


Fig. 4 Porcentaje de nitrógeno proteico total (NT), proteínas y rendimiento en *G. robustum*.

VI.5. Fuerza de gel.

Se encontraron diferencias entre ambos métodos de medición. Los valores más altos de fuerza de gel se obtuvieron por el método de la balanza de dos platos, mientras que con el gelómetro Nikkan los valores fueron menores. La equivalencia entre los métodos se obtiene al multiplicar los resultados del método Nikkan por 2.15. La mayor fuerza de gel se encontró en Isla de Cedros, Bahía Asunción e Isla San Benito, mientras que le menor en El Rosario (Fig. 5).

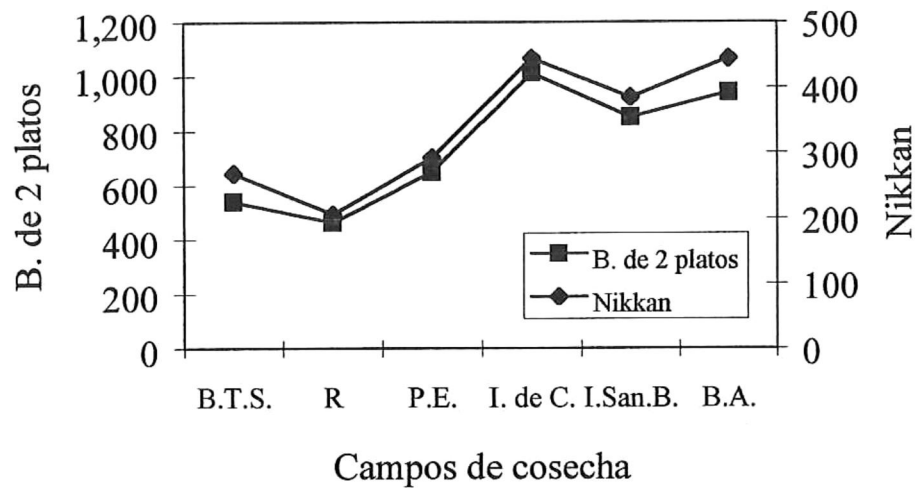


Fig. 5 Fuerza de gel (g cm^{-1}) en muestras de agar de *G. robustum*.

VI.6. Temperatura de fusión y gelificación.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la temperatura de gelificación del agar de los distintos campos de cosecha ($H=29.67$, $p=0.01$). La temperatura de gelificación se encontró entre los 33 y 36°C (Tabla II).

Se encontraron diferencias significativas ($H=24.69$, $p=0.002$) en la temperatura de fusión del agar entre las muestras de El Rosario, mientras que en le resto de ellas no se encontraron diferencias. La temperatura mínima de fusión se encontró en las muestras de agar de El Rosario (91.7°C) mientras que la máxima en Bahía de Todos Santos (95.2°C).

VI.7. Correlación de variables.

La temperatura de fusión presentó una correlación positiva con la histéresis del agar. Se encontró una alta correlación negativa entre el contenido de sulfatos y la fuerza de gel, así como con la temperatura de fusión. De igual manera el contenido de proteínas en el tejido de las algas y el rendimiento de agar presenta una correlación negativa. Se encontró una baja correlación negativa entre el contenido de 3,6-anhidrogalactosa y ésteres de sulfato, así como 3,6-AG y fuerza de gel (Tabla III).

Tabla II. Resultados de la caracterización química y física del agar de *Gelidium robustum*.

Campos de Cosecha						
	Bahía de Todos Santos	El Rosario	Punta Eugenia	I.Cedros	I. San. Benito	Bahía Asunción
Rendimiento (%)	36.6 ± 0.1	35.8 ± 0.5	30.7 ± 0.5	36.3 ± 0.4	35.1 ± 0.7	31.3 ± 0.2
3,6-Anidrogalaactosa (%)	39.1 ± 0.8	37.2 ± 0.6	35.5 ± 1.11	40.0 ± 1	36.3 ± 0.8	39 ± 0.6
Sulfatos (%)	2.5 ± 0.2	4 ± 0.2	1.8 ± 0.2	1.3 ± 0.2	1.3 ± 0.2	1.4 ± 0.1
Fuerza de gel (g cm ⁻²)	538.5	463.7	649	1012.5	849.8	940.5
F. G. Nikkan (g cm ⁻²)	268	205.3	292	444	384.3	444
Tem. de Fusión (°C)	95.2 ± 0.6	91.7 ± 0.1	93.7 ± 0.4	94.9 ± 0.5	94.8 ± 0.8	93.8 ± 0.3
Tem. de Gelif. (°C)	34.5 ± 0.2	33.6 ± 0.1	33.3 ± 0.5	33.4 ± 0.2	34.6 ± 0.8	35.5 ± 0.3
Proteínas (%)	16.7 ± 0.6	17.6 ± 0.7	18.9 ± 0.3	16.6 ± 0.3	14.8 ± 0.2	18.9 ± 0.1
Conchilla (%)	18.6 ± 7.2	17.2 ± 1.3	14.4 ± 2.5	11.2 ± 2.6	34.8 ± 8.4	25.5 ± 0.1

Tabla III. Matriz de coeficientes de correlación entre variables o índices de calidad del agar en *Gelidium robustum*.

	Fuerza de gel	FG Nikkan	Sulfatos	Rendimiento	Proteínas	AG	Nitrógeno total	Temp. Gelificación	Temp. Fusión	Histéresis
Fuerza de gel	***	0.9896*	-0.9129*	-0.1885	-0.1287	0.3826	-0.2105	0.2837	0.5047	0.3188
FG Nikkan		***	-0.9161*	-0.2160	-0.1043	0.4225	-0.2118	0.4034	0.5688	0.3047
Sulfatos			***	0.3597	0.1206	-0.1106	0.2057	-0.2814	-0.7057 ⁺	-0.5211
Rendimiento				***	-0.7645 ⁺	0.4205	-0.6644	-0.1993	-0.1105	0.0198
Proteínas					***	-0.0767	0.9705*	-0.0248	-0.1830	-0.1666
AG						***	-0.0993	0.2544	0.2816	0.1151
Nitr. Total							***	-0.2591	-0.2406	-0.0711
Temp. Gelif.								***	0.3251	-0.3283
Temp. Fusión									***	0.7865 ⁺
Histéresis										***

- (*) Estadísticamente significativos $\alpha = 0.05$.
- (+) Estadísticamente significativos $\alpha = 0.1$.

VII. DISCUSIÓN

VII.1. Rendimientos.

En el presente trabajo se comprueba la hipótesis plateada, ya que se encontraron diferencias significativas en el contenido de agar de las muestras provenientes de Punta Eugenia y Bahía Asunción con respecto a las otras zonas de cosecha ($p < 0.01$). De igual manera se encontraron diferencias significativas ($p = 0.0073$) en la cantidad de agar que se obtuvo de las muestras de los 6 campos de cosecha en la segunda extracción; la menor cantidad se obtuvo en las muestras de El Rosario (3.77%), mientras que el mayor contenido se obtuvo en las muestras de Isla de Cedros (9.9%) (Tabla II). El rendimiento a su vez se correlacionó negativamente (-0.7645 , $p = 0.1$) con el contenido de nitrógeno proteico (Tabla III).

El rendimiento que se obtuvo de agar de *G. robustum* en base seca en el presente trabajo (30-37%) se encontró dentro del reportado para la misma especie por Freile-Pelegrín *et al.*, (1999) y Silverthorne (1977). Casas-Valdéz y Hernández-Guerrero (1996), así como Espinoza-Avalos y Rodríguez-Garza (1992) reportan intervalos ligeramente más altos en el rendimiento de agar de esta especie (41- 45%); sin embargo los últimos autores reportan variaciones individuales del 34 al 51%.

En cultivos de *G. robustum* en tanques se reportan rendimientos de agar entre 27 - 43% (Sousa-Pinto *et al.*, 1996) y 23.7 – 39% (Pacheco-Ruíz, 1990).

Intervalos similares de rendimiento se observan en otras especies de agarofitas, tanto gelidiales como gracilariales (Carter y Anderson, 1986; Bird y Hinson, 1992; Mouradi-Givernaud *et al.*, 1992; Matsuhira y Urzúa, 1991; Oliveira *et al.*, 1996).

Por lo que se puede deducir que la síntesis o rendimiento del agar de *G. robustum* disminuye al aumentar la incorporación de nitrógeno en los tejidos de las algas, tal y como se ha observado en otras agarofitas y carragenofitas (Hoyle, 1978b; Deboer, 1979; Bird *et al.*, 1981; Bird, 1984; Carter y Anderson, 1986; Macler y West, 1987; Ekman *et al.*, 1991).

La variabilidad en la disposición de nitrógeno en el medio está a su vez correlacionado con el crecimiento de los ápices de las algas, puesto que se ha observado que en los periodos de crecimiento y asimilación de nitrógeno para formar proteínas en las plantas la síntesis de agar disminuye, e inversamente, la reducción en la síntesis de proteínas (principalmente ficobilinas) incrementa la síntesis de agar (Christiaen *et al.*, 1987; Carter y Anderson, 1986; Stadler *et al.*, 1987). Esto puede explicar las diferencias en el contenido de agar entre las zonas de cosecha analizadas, puesto que el contenido de nitrógeno inorgánico en el agua de mar y su consecuente incorporación en la síntesis de proteínas varía temporal y latitudinalmente a lo largo de la península de Baja California, particularmente cuando se presentan surgencias y que a su vez son más recurrentes en la parte central de la península (Ladah, 2000).

Por otra parte, se reconoce que una reducción en la cantidad de luz disponible para las algas puede disminuir el rendimiento de agar (Santelices, 1988). Cancino *et al.*, (1987) encontró que para la especie *Gelidium rex* Santelices *et* Abbott con alto

contenido de briozoarios (“conchilla”) recibe menor cantidad de irradiancia solar, provocando una tasa fotosintética menor que aquellas con menor cobertura de epizoos.

De acuerdo con Torres *et al.*, (1991) la máxima tasa fotosintética incrementa la síntesis de polisacáridos en la pared celular en *Gelidium sesquipedale* (Clem.) Bornet *et* Thuret. Sin embargo en este trabajo no se encontró relación entre el contenido de “conchilla” en las plantas y el rendimiento, ya que muestras con diferentes porcentajes tienen rendimientos estadísticamente iguales, esto difiere a lo reportado por Freile-Pelegrín *et al.*, (1999).

Este mismo efecto en la reducción de la tasa fotosintética y su consecuente reducción en la síntesis de polisacáridos en la pared celular puede deberse a la sombra que generan otras macroalgas, que por su tamaño y desarrollo eviten que los rayos solares alcancen los mantos de *G. robustum*, tal es el caso de las algas cafés *Macrocystis pyrifera* y *Eisenia* sp. (D. Lora com. personal)* que se sabe que sus mantos crecen en asociación a los de *G. robustum* en la costa occidental de la Península de Baja California (Guzmán del Prío y de la Campa de Guzmán 1969).

Es importante mencionar que el rendimiento y composición química del agar son afectados por los pretratamientos aplicados a la materia prima, así como por los métodos de extracción y recuperación del agar (Armisen y Galatas, 1987; Lahaye y Rochas, 1991).

* David Lora. Jefe de Adquisición de Materias Primas de AGARMEX S.A de C.V.

Esto se observa en pretratamientos simples como el lavado de la materia prima, que aunque se realicen con agua de mar, disminuyen considerablemente la proporción de sales del alga con un consiguiente incremento de la fracción orgánica de la misma (Larsen, 1978).

VII.2. Contenido de 3,6-anhidrogalactosa y grupos hemiéster sulfato.

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.01$) en el contenido de 3,6-anhidrogalactosa en las muestras de El Rosario, Punta Eugenia, Isla de Cedros e Islas San Benito; en Bahía de Todos Santos y Bahía Asunción el contenido fueron iguales estadísticamente. El intervalo en el contenido de 3,6-anhidrogalactosa encontrado (35-40%) (Tabla II) en los 6 campos de cosecha en este trabajo se encuentra dentro de lo reportado por otros autores para diversas Gelidiales (Alvares *et al.*, 1978; Zanolungo, 1980; White *et al.*, 1981; Santos y Doty, 1983; Onraët y Robertson, 1987; Matsuhira y Urzúa, 1991; Mouradi-Givernaud *et al.*, 1992).

En el contenido de grupos sulfatos se encontraron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre los campos de cosecha de Isla de Cedros, Islas San Benito y Bahía Asunción, respecto a Bahía de Todos Santos, El Rosario y Punta Eugenia. El intervalo se encontró entre 1.28 y 3.97%, que corresponden a Isla de Cedros y El Rosario, respectivamente; siendo este último mayor al reportado por Freile-Pelegrín *et al.*, 1999.

Estas diferencias pueden deberse a la variabilidad del medio donde se desarrollan las algas, tales como cambios en la temperatura, radiación solar y salinidad, ya que en términos generales la cantidad de grupos sulfatos se incrementa al aumentar la cantidad de radiación solar y temperatura, mientras que disminuye al aumentar la salinidad (Bird, 1988; Daugherty y Bird, 1988; Yang, 1982).

Freile-Pelegrín *et al.*, (1999) reporta valores similares en el contenido de ésteres de sulfato para la misma especie y valores máximos de 2.5 a 2.75% de primavera a otoño y con una ligera disminución en invierno (2.2%). En general se encontraron valores similares de grupos sulfatos a los citados por varios autores para diferentes especies de Gelidiales p. ej., 1.48% para *G. amansii* Lamouroux (Araki, 1966); 3.6% en *G. cartilagineum* (L.) Gaill (Young *et al.*, 1971); 1.41% en *G. pusillum* (Stackh.) Le Jolis (Santos y Doty, 1983); 1.32 - 2.45% en *Onikusa pristoides* (Turner) Akatsuka (Onraët y Robertson, 1987); para *Gelidium chilense* (Montagne) Santelices *et* Montalva de 1.3 a 2.8% (Matsuhira y Urzúa, 1991); *Gelidium latifolium* (Greville) Thuret *et* Bornet 2.08-2.6% (Mouradi-Givernaud *et al.*, 1992).

Se encontró una baja correlación negativa entre el contenido de 3,6-anhidrogalactosa y grupos sulfatos (-0.1106), a diferencia de lo encontrado por Onraët y Robertson (1987) en *O. pristoides*, así como para algunas especies de *Gracilaria* sp. en que la correlación encontrada es significativamente mayor (Miller y Furneaux, 1987; Craigie y Wen, 1984; Araño *et al.*, 2000).

La correlación entre el contenido de sulfatos y fuerza de gel es altamente significativa ($p=0.05$) (Tabla III). Esto coincide con lo encontrado para algunas especies de *Gracilaria* por Araño *et al.*, 2000; Bird *et al.*, 1981; y para *Gracilariopsis bailinae* y *G. lameneiformis* por Hurtado-Ponce y Pondevida, 1997; y Arellano-Carbajal *et al.*, 1999, respectivamente.

VII.3. Fuerza de gel.

Se encontraron diferencias entre los dos métodos aplicados para la determinación de la fuerza de gel del agar de *G. robustum*. Los resultados por el método propuesto por Miller y Furneaux (1987) fueron 2.15 veces mayor a los determinados por el gelómetro (Nikkan) que se utiliza en la industria de la extracción del agar (Tabla II). Sin embargo se encontró una alta correlación positiva entre ambos métodos (0.9896 , $p=0.05$), esto indica que a pesar de la diferencia numérica encontrada los métodos son válidos y equivalentes al utilizar un factor de corrección de 2.15.

Los valores promedio de fuerza de gel determinados con ambos métodos de medición fueron estadísticamente diferentes entre ellos ($p<0.01$), excepto en los resultados que se obtuvieron con el gelómetro Nikkan para los campos de cosecha de Isla de Cedros y Bahía Asunción en que los valores son estadísticamente iguales. En estos dos campos de cosecha se encontraron los valores más altos de fuerza de gel, 1012 y 444 g cm⁻² respectivamente, y los más bajos en El Rosario (463 y 205 g cm⁻²) (Tabla II).

Los valores de fuerza de gel encontrados en este trabajo por el método Nikkan son menores a los citados por Freile-Pelegrín *et al.*, (1999) pero similares a los reportados por Espinoza-Avalos y Rodríguez-Garza (1992) para la misma especie (*G. robustum*) y para las muestras de Bahía de Todos Santos, El Rosario y Punta Eugenia; mientras que los encontrados por el método de Miller y Furneaux (1987) son mayores (Tabla II).

En este trabajo se encontró una correlación negativa estadísticamente significativa entre el contenido de grupos hemiéster sulfato y la fuerza de gel (Tabla III). Esto concuerda con lo citado por otros autores para una gran variedad de agarofitas (Yaphe y Duckworth, 1972; Whyte *et al.*, 1981; Craigie y Wen, 1984; Miller y Furneaux, 1987; Hurtado-Ponce y Pondevida, 1997; Arrellano-Carbajal *et al.*, 1999; Araño *et al.*, 2000). Sin embargo difiere a lo reportado por Freile-Pelegrín *et al.*, (1999) para muestras de *G. robustum* de la parte central en las cuales no encontró correlación entre estas dos variables.

La fuerza de gel de las muestras de los 6 diferentes campos de cosecha de este trabajo, presentan una alta correlación negativa con el contenido de grupos sulfatos. Lo anterior es evidente en las muestras de agar de Isla de Cedros, Islas San Benito y Bahía Asunción; por lo tanto, el contenido de grupos sulfatos y la fuerza de gel describen con mayor precisión la calidad del agar de *G. robustum*.

Ahora bien, las diferencias pueden deberse también al peso molecular de las cadenas lineales formadas por las unidades disacáridas, tal y como sucede con *Gelidium*

latifolium en que la fuerza de gel no se relacionó con la composición química del polisacárido sino con el tamaño molecular del mismo (Mouradi-Givernaud *et al.*, 1992).

A diferencia de lo encontrado por otros autores para diversas agarofitas (Arrellano-Carbajal *et al.*, 1999; Araño *et al.*, 2000; Villanueva, *et al.*, 1999), en este trabajo no se encontró correlación significativa entre la fuerza del gel y el contenido de 3,6-anhidrogalactosa.

VII.4. Nitrógeno proteico total, proteico y no proteico

El intervalo de nitrógeno proteico total en los tejidos de *G. robustum* es de 16.18 a 20.14%; mientras que el nitrógeno proteico corregido se encontró entre 14.7 y 18.9%, ambos en peso seco. Este último es ligeramente más alto al encontrado por Alarcón-Aragón (2000) para *Gracilaria pacifica* (12.36 – 14.1% peso seco).

El porcentaje de nitrógeno no proteico en el tejido de *Gelidium robustum* es de aproximadamente el 0.20% en peso seco.

VII.5. Temperatura de fusión y gelificación.

Las temperaturas de gelificación (33.3 – 35.5°C) son similares a las citadas por Freile-Pelegrín *et al.*, (1999) y Sousa-Pinto *et al.*, (1996) para la misma especie (33.7-35°C y 30-33°C, respectivamente). De igual manera se encontraron en *Gelidium pusillum* (34-36°C) (Bird y Hinson, 1992) y *Gelidium chilense* (30-35°C) (Matsuhiro y Urzúa, 1991).

En el caso especies de agarofitas gracilarias las temperaturas de gelificación son mayores a las determinadas en este trabajo, tal es el caso de *G. maramae* (44-46°C), *G. arcuata* v. *snackeyi* (43-45.5°C) (Falshaw *et al.*, 1999); *Gracilariopsis bailinae* (42-45°C) (Hurtado-Ponce y Pondevida, 1997); *G. tenuistipitata* (41.6-43°C) (Montaño *et al.*, 1999); *Gracilaria mammillaris* (42°C) y *Gelidiella acerosa* (45°C) (Murano *et al.*, 1996); *Gracilaria changüi*, *Gracilaria manilaensis* y *Gracilariopsis bailinae* (40-46°C) (Pondevida y Hurtado-Ponce, 1996).

El intervalo de temperatura de fusión (91 - 95°C) es ligeramente mayor al citado por Freile-Pelegrín *et al.*, (1999) (82.5 - 87.2°C) y Sousa-Pinto *et al.*, (1996) (75 - 89°C) para la misma especie. Sin embargo en otras especies de gelidiales las temperaturas son similares, tal es el caso de *Gelidium chilense* (92 - 94°C) (Matsuhiro y Urzúa, 1991); y *Gelidiella acerosa* (93°C) (Murano *et al.*, 1996), (81 - 94°C) (Thomas *et al.*, 1975) y (92 - 97°C) (Villanueva *et al.*, 1999).

Estas temperaturas de fusión ligeramente altas se han observado en otros trabajos y principalmente con especies de *Gelidium* sp. y se asocia a que las cadenas o polímeros están poco fraccionadas, o dicho de otra manera, conforman grandes cadenas poliméricas y por lo tanto son agares que tienen un alto peso molecular (Selby y Wynne, 1973; Whyte *et al.*, 1981). Esto a su vez permite una mayor capacidad de formación de hélices dobles y por agregación de estas formar redes tridimensionales que inmovilizan el agua; así que a mayor peso molecular se incrementa la fuerza de gel, disminuye la temperatura de gelificación y aumenta la temperatura de fusión (Pondevida y Hurtado-Ponce, 1996).

Normalmente ambas temperaturas (gelificación y fusión) se correlacionan con la fuerza de gel (Pondevida y Hurtado-Ponce; 1996; Arellano-Carbajal *et al.*, 1999; Araño *et al.*, 2000) en este trabajo no se observó correlación alguna entre estas variables.

Los métodos de extracción determinan en gran medida el tamaño de las cadenas poliméricas del agar, ya que tanto los pretratamientos como la extracción en sí, pueden ser demasiado severos y fraccionar las cadenas de agar, y consecuentemente modificar sus características físicas tal y como se mencionó con anterioridad.

En el presente trabajo las extracciones del agar se realizaron en solución amortiguadora o *buffer* a pH de 6.3, evitando en la medida de lo posible alterar las características físicas propias del agar nativo. Lo anterior puede explicar en cierta medida la temperatura de gelificación relativamente baja, así como la alta temperatura de fusión que se encontró en las muestras de agar de las 6 zonas de cosecha. Sin embargo, estas características físicas hacen de este agar un excelente producto para la industria bacteriológica (Armisen y Galatas, 1987).

Bibliografía.

- Abbott, I.A. y G.J. Hollenberg. (1976). *Marine Algae of California*. Stanford University Press. Stanford. 827 pp.
- Alarcón-Aragón, A.B. (2000). *Gracilaria pacifica* fertilizada como alimento para abulones cultivados. Tesis de Maestría. U.A.B.C. Facultad de Ciencias Marinas. Ensenada, B.C., México. Ensenada, B.C., México. 63 pp.
- Alvares, A., M. Caloca, R. Gandcedo, M.C. Mosquera y J.M. Salinas. (1978). Study of some commercial algae in Spain. Part I: Contribution to the knowledge of the microscopic structure of fertile phylloids of *Gelidium sesquipedale*. *Boletín Instituto España Oceanographia*, 250: 111-124.
- Aguilar-Rosas, L.E., R. Aguilar-Rosas, I. Pacheco-Ruíz, E. Bórquez-García, M.A. Aguilar-Rosas y E. Urbieto-González. (1982). Algas de importancia económica de la región noroccidental de Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 8: 49-63.
- A.O.A.C. (1984). Official methods of analysis. K. Helrich (ed.) 15th. Edition Arlington, Virginia, U.S.A.
- A.O.A.C. (1990). Official methods of analysis. K. Helrich (ed.) 15th. Edition Arlington, Virginia, U.S.A.
- Araki, C. (1944). Chemical studies on agar-agar. XIII. Separation of agarobiose from the agar-agar like substance of *Gelidium amansii* by partial hydrolysis. *J. Chem. Soc. Japan*, 65:533-8.
- Araki, C. (1966). Some recent studies on polysaccharides of agarophytes. *Proc. Int. Seaweed Symp.* 5:3-17.
- Araño, K.G., G.C. (Jr.) Trono, N.E. Montaña, A.Q. Hurtado y R.D. Villanueva. (2000). Growth, agar yield and quality of selected agarophyte species from the Philippines. *Botanica Marina*, 43:517-524.
- Arellano-Carbajal, F., I. Pacheco-Ruíz y F. Correa-Díaz. (1999). Variación estacional del rendimiento y calidad de *Gracilariopsis lemaneiformis* (Bory) Dawson, Acleto et Foldvik, del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*, 25: 51-64.
- Armisen, R. (1992). Productos derivados de *Gelidium*: Producción, estructura y aplicaciones. En: *Gelidium: de los recursos y aplicaciones*. Juárez y González (eds). Diputación Regional de Cantabria. 27 pp.
- Armisen, R. (1993). Curso 4. En: Master, Degree Course in Applied Algology. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España. Tomo III: 45-62 pp.

- Armisen, R. y F. Galatas. (1987). Production and properties and uses of agar. En: (D.S. McHugh, ed.) Production and Utilization of Products from Commercial Seaweeds. FAO Fish. Tech. Paper. 288: 1-57.
- Arnott, S., A. Fulmer, W.E. Scott, I.C.M. Dea, R. Moorhouse y D.A. Rees. (1974). The agarose double helix and its function in agarose gel structure. J. Mol. Biol., 90:269-284.
- Bird, K.T. (1984). Seasonal variations in protein: carbohydrate ratios in subtropical estuarine alga, *Gracilaria verrucosa*, and the determination of nitrogen limitation status using these ratios. Botánica Marina, 27: 111-115.
- Bird, K.T. (1988). Agar production and quality from *Gracilaria* sp. strain G-16: Effects of environmental factors. Botanica Marina, 31: 33-39.
- Bird, K.T., M.D. Hanisak y J. Ryther. (1981). Chemical quality and Production of agars extracted from *Gracilaria tikvahiae* grown in different nitrogen enrichment conditions. Botanica Marina, 24: 441-444.
- Bird, K.T y T.K. Hinson. (1992). Seasonal variations in agar yields and quality from North Carolina Agarophytes. Botanica Marina, 35: 291-295.
- Cancino, J.M., J. Muñoz, M. Muñoz y M.C. Orellana. (1987). Effects of the bryozoan *Membraniphora tuberculata* (Bosc.) on the photosynthesis and growth of *Gelidium rex* Santelices et Abbott. J. exp. mar. Biol. Ecol., 113: 105-112.
- Carter, A.R. y R.J. Anderson. (1986). Seasonal growth and agar content in *Gelidium pristoides* (Gelidiales, Rhodophyta) from Port Alfred, South Africa. Botanica Marina, 29:117-123.
- Casas-Valdes, M. y C.J. Hernández-Guerrero. (1996). Pesquería de *Gelidium robustum*. En: Estudio del Potencial Pesquero y Acuicola de Baja California Sur. pp 420-429.
- Christiaen, D., T. Stadler, M. Ondarza y M.C. Verdus. (1987). Structures and functions of the polysaccharides from the cell wall of *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyta, Gigartinales). Hydrobiologia, 151/152: 139-146.
- Craigie, J.S. y C. Leigh. (1978). Carrageenans and agars. En: "Handbook of Phycological Methods; Physiological and Biochemical Methods". Hellebust, J. A. y Craigie J. S. (ed.) Cambridge University Press. 131 pp.
- Craigie, J.S. y Z.C. Wen. (1984). Effects of temperatures and tissues age on gel strength and composition of agar from *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta). Can. J. Bot. 62: 1665-1670.
- Craigie, J.S. (1990). Cell walls. En: Cole, K.M. y Sheath, R.G. (eds.). Biology of red Algae. Cambridge University Press. pp 221-257.

- Daugherty, B.K. y K.T. Bird (1988). Salinity and temperature effects on agar production from *Gracilaria verrucosa* strain G-16. *Aquaculture*, 74: 2-9.
- Dawes, C.J. (1991). *Botánica Marina*. Ed. Limusa. México. 673 p.
- Dawson, E. Y. (1951). A further study of upwelling and associated vegetation along Pacific Baja California, Mexico. *Journal of Marine Research*. 10(1): 39-58.
- DeBoer, J.A. (1979). Effects of nitrogen enrichment on growth rate and phycocolloid content in *Gracilaria follifera* and *Neogardhiella baileyi* (Florideophyceae). *Proc. Int. Seaweed Symp.* 9: 263-271.
- Ekman, P., S. Yu y M. Pedersén. (1991). Effect of altered salinity, darkness and algal nutrient status of floridoside and starch content, δ -Galactosidase activity and agar yield of cultivated *Gracilaria sordida*. *Br. Phycil. J.*, 26: 123-131.
- Espinoza-Avalos. J. y H. Rodríguez-Garza. (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.
- Espinoza-Higuera, J.F. (1992). Monografía de las familias Lessoniaceae y Desmarestiaceae (Phaeophyta) para las costas de la Península de Baja California, México. Tesis de Licenciatura. U.A.B.C., Ensenada, B.C., México. 97 p.
- Falshaw, R., R.H. Furneaux, T.D. Pickering y D.E. Stevenson. (1999). Agars from three Fijian *Gracilaria* species. *Botanica Marina*, 42: 51-59.
- Freile-Pelegrín, Y., D. Robledo y G. García-Reina. (1995). Seasonal agar yield in *Gelidium canariensis* (Grunow) Seoane-Camba (Gelidiales, Rhodophyta) from Gran Canaria, Spain. *J. Appl. Phycol.*, 7:141-144.
- Freile-Pelegrín, Y., D. Robledo, R. Armisen y G. García-Reina. (1996). Seasonal changes in agar characteristics of two populations of *Pterocladia capillacea* in Gran Canaria, Spain. *J. Appl. Phycol.*, 8:236-246.
- Freile-Pelegrín, Y., D. Robledo y E. Serviere-Zaragoza. (1999). *Gelidium robustum* agar: quality characteristic from explotted beds and seasonality from an unexploited bed at southern Baja California, México. *Hydrobiologia* 398/399:501-507.
- Friedlander, M., R. Shalev, T. Ganor, S. Strimling, A. Ben-Amotz, H. Klar y Y. Wax. (1987). Seasonal fluctuations of growth rate and chemical composition of *Gracilaria* cf. *conferta* in outdoor culture in Israel. *Hydrobiologia*, 151/152: 501-7.
- Guzmán del Proo, S.A. y S. de la Campa. (1969). Investigación sobre *Gelidium cartilagineum* en la costa occidental de Baja California, México. *Proc. Int. Seaweed Symp.*, 6:169-186.

- Guzmán del Proo S.A., S. de la Campa de Guzmán y J. Pineda Barrera. (1974). La cosecha de algas comerciales en Baja California. *Ins. Nac. de la Pesca*, 2(1):1-7.
- Guzmán del Proo, S.A. y S. de la Campa de Guzmán. (1978). *G. robustum* (Florideophyceae), an Agarophyte of Baja California, México. *Ins. Nac. de la Pesca* 9:303-308.
- Haug, A. (1974). Chemistry and Biochemistry of Cell Wall Polisaccharides. *International Review of Science. Biochem. Section.*, 1, vol.11, pp.51-58. D.H. Northcote ed. Medical Technical Publishing Co. Oxford, England
- Hernández-Vázquez, S. (1995). Distribución y abundancia de huevos y larvas de sardina y anchoveta en las costas de Baja California y Baja California y su relación con factores ambientales: 1951-89. Tesis de Doctorado. CICESE, Ensenada, B.C., México 178 pp.
- Hispanoagar, S.A. (1967). Métodos de medida de fuerza de gel en agar-agar. *Castello*, 7. España.
- Hoyle, M.D. (1978a). Agar studies on two *Gracilaria* species (*G. bursapastoris* (Gmelin) Silva and *G. coronopifolia* J. Ag.) from Hawaii. I. Yield and gel strength in the gametophyte and tetrasporophyte generations. *Botanica Marina*, 21:343-345.
- Hoyle, M.D. (1978b). Agar studies on two *Gracilaria* species (*G. bursapastoris* (Gmelin) Silva and *G. coronopifolia* J. Ag.) from Hawaii. II. Seasonal aspects. *Botanica Marina*, 21:347-352.
- Hurtado-Ponce, A.Q. y H.B. Pondevida. (1997). The interactive effect of some environmental factors on the growth, agar yield and quality of *Gracilariopsis bailinae* (Zhang et Xia) cultured in tanks. *Botanica Marina*, 40: 217-223.
- Johnstone, R.G. y F.L. Feeney. (1944). Periodicity of *Gelidium cartilagineum* perennial red algae. *Amer. J. Bot.* 31: 25-29.
- Kim, D.H. y N.P. Enriquez. (1978). Yields and gel strengths of agar from cystocarpic and tetrasporic plants of *Gracilaria verrucosa* (Florideophyceae). *Proc. Int. Seaweed Symp.*, 9:257-262.
- Ladah, L.B. (2000). Historia de vida de *Macrocystis pyrifera* en su límite sur de distribución en el Hemisferio Norte: estrategias de supervivencia. Tesis de Doctorado. U.A.B.C. Ensenada, B.C., México. 139 pp.
- Lahaye, M. y C. Rochas. (1991). Chemical structure and physico-chemical properties of agar. *Hidrobiología*, 221:137-148.

- Larsen, B. (1978). Curso Evaluación química de los recursos algales de Baja California, Escuela Superior de Ciencias Marinas. U.A.B.C. Ensenada, B.C., México.
- Macler, B. A. y J.A. West. (1987). Life history and physiology of the red alga *Gelidium coulteri* in unialgal culture. *Aquaculture*, 61: 281-293.
- Matsuhiro, B. y C.C. Urzúa. (1991). Agars from Chilean Gelidiaceae. *Hydrobiologia* 221: 149-156 p. En: Juanes, J.A., Santelices, B. y McLachlan (eds.) International Workshop on *Gelidium*. Kluwer Academic Publishers.
- McHugh, D.J. (1991). Worldwide distribution of commercial resources of seaweeds including *Gelidium*. *Hydrobiologia*, 221: 19-29.
- Miller, I.J. y R.H. Furneaux. (1987). Chemical characteristics of the galactans from the forms of *Gracilaria secundata* from New Zealand. *Botanica Marina*, 30: 427-435.
- Molina-Martínez, J. (1986). Notas sobre tres especies de algas marinas: *Macrocystis pyrifera*, *Gelidium robustum* y *Gigartina caniculata* de interés comercial en la costa occidental de Baja California, México. pp. 16-39. En: Contribuciones biológicas y tecnológicas-pesqueras. Documento Técnico Informativo No.3. Secretaría de Pesca, INP, CRIP, Ensenada, Baja California. 110 pp.
- Montaño, N.E., R.D. Villanueva y J.B. Romero. (1999). Chemical characteristic and gelling properties of agar from two Philippine *Gracilaria* spp. (Gracilariales, Rhodophyta). *J. Appl. Phycol.*, 11:27-34.
- Mouradi, A., T. Givernaud, H. Morvan y J. Cosson. (1992). Agar from *Gelidium latifolium* (Rhodophyceae, Gelidiales) Biochemical composition and seasonal variation. *Botanica Marina.*, 35:153-159.
- Murano, E., R. Toffanin, C. Pedersini, A. Carabot-Cuervo, G. Blunden y R. Rizzo. (1996). Structure and properties of agar from two unexploited agarophytes from Venezuela. *Hydrobiologia*, 326/327:497-500.
- Oliveira, E.C., R.M. Saito, J.F. Santos Neto y M.C. Garófalo G. (1996). Temporal and spatial variation in agar from a population of *Pterocladia capillacea* (Gelidiales, Rhodophyta) from Brazil. *Hydrobiologia*, 326-327: 501-504.
- Onraët A.C. y B.L. Robertson. (1987). Seasonal variation in yield and properties of agar from sporophytic and gametophytic phases of *Onikusa pristoides* (Turner) Akatsuka (Gelidiaceae, Rhodophyta). *Botanica Marina*, 30: 491-495.
- Oza, R.M. (1978). Studies on Indian *Gracilaria* IV: Seasonal variation in agar and gel strength of *Gracilaria corticata* J. Ag. occurring on the coast of Veraval. *Botanica Marina*, 21:165-167.

- Pacheco-Ruíz, I. (1990). Ecología y maricultivo de *Gelidium robustum* (Gardn.) Hollenb. & Abb. (Rhodophyta) en Baja California, México. Tesis de Maestría. U.A.B.C. Ensenada, B.C., México. 87 pp.
- Pacheco-Ruíz, I y J.A. Zertuche. (1996). The commercially valuable seaweeds of the Gulf of California. *Botanica Marina*, 39: 201-206.
- Percival, E. y H. McDowell. (1967). Chemistry and enzymology of marine algal polisaccharides. Academic Press. London. 319 pp.
- Pondevida, H.B. y A.Q. Hurtado-Ponce. (1996). Assessment of some agarophytas from the costal areas of Iloilo, Philippines; II-Seasonal variations in the agar quality of *Gracilaria changii*, *Gracilaria manilaensis* and *Gracilariopsis bailinae* (Gracilariales, Rhodophyta). *Botanica Marina*, 39:123-127.
- Reid, J.L., Roden, G.I. (Jr.) y J.G. Wyllie. (1958). Studies of the California Current System. Calcofi. Prog. Rep., 26-27 pp.
- Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. Ed. Limusa, México. 432 pp.
- Santelices, B. (1974). Gelidioid Algae. A brief resume of the pertinent literature. Marine Agronomy. US. Sea Grant Program. Hawaii. Technical Report. 1., 111 pp.
- Santelices, B. (1988). Synopsis of biological data of the seaweed genera *Gelidium* and *Pterocladia* (Rhodophyta). FAO Fish. Synops. 145-155.
- Santos, G.A. y M.S. Doty. (1983). Agar from some Hawaiian red algae. *Aquatic Botany*, 16: 385-389.
- Selby, H.H. y W.H. Wynne. (1973). Agar. En: Whistler, R.L. y J.N. BeMiller (eds.), Industrial Gums. Academic Press, New York, pp. 17-31.
- Silverthorne, W. (1977). Optimal production from a seaweed resource. *Botanica Marina*, 20: 75-98.
- Sousa-Pinto, I., R. Lewis y Polne-Füller, M. (1996). The effect of phosphate concentration on growth and agar content of *Gelidium robustum* (Gelidiaceae, Rhodophyta) in culture. *Hydrobiologia*, 326/327: 437-443.
- Stadler, T., D. Christiaen, M.C. Verduy y H. Morvan. (1987). Physiologie de la production d'agar dans la paroi de *Gracilaria verrucosa* en régime de culture altérée. *Sciences de l'eau*, 6: 105-120.
- StatSoft, Inc. (1995). STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2325 East 13th Street, Tulsa, OK 74104, (918) 583-4149, fax: (918) 583-4376.

- Sverdrup, H.V., Johnson, M.W. y R.H. Fleming. (1970). The Oceans. Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice Hall, Inc. 1087 pp.
- Tabatabai, M.A. (1974). Determination of sulphate in water samples. J. Sulphur Inst., 10: 11-13.
- Tejada de Hernández, I. (1992). Control de Calidad y Análisis de Alimentos para Animales. Secretaría de Educación Pública. 397 pp.
- Thomas, P.C., R.K. Rama y K. Subbaramaiah. (1975). Periodicity in growth and production of agar of *Gelidiella acerosa* (Forsskal) Feldelmann *et* Hamel. Indian J. Mar. Sci. 4: 210-212.
- Thurman, H.V. (1978). Introductory Oceanography. Merrill Publishing Company. 506 pp.
- Torres, M., F.X. Niell y P. Algarra. (1991). Photosynthesis of *Gelidium sesquipedale*: effects of temperature and light on pigment concentration, C/N ratio and cell wall polysaccharides. Hydrobiologia, 221: 77-82.
- Tsuchiya, Y. y K. Hong. (1966). Agarosa and agarpectin in *Gelidium* sp and *Gracilaria* sp agar. En: Young E.G. & J.L. McLachlan (eds.), Proceedings of the Fifth International Seaweed Symposium, Halifax, August 1965. Pergamon Press, Oxford, 315-321.
- Villanueva, R.D., N.E. Montaña, J.B Romero, A.K.A. Aliganga y E.P Enriquez. (1999). Seasonal variations in the yield, gelling properties and chemical composition of agars from *Gracilaria eucheumoides* and *Gelidiella acerosa* (Rhodophyta) from the Philippines. Botanica Marina, Vol. 42(2): 175-182.
- Whyte, J.N.C., J.R. Englar, R.G. Saunders y J.C. Lindsay. (1981). Seasonal variations in the biomass, quantity and quality of agar, from the reproductive and vegetative stages of *Gracilaria (verrucosa)* type). Botanica Marina, 24: 493-501.
- Yaphe, W. y G.P. Arsenault. (1965). Improved resorcinol reagent for the determination of fructose and 3,6-anhidrogaltose in polysaccharides. *Analyt. Biochem.* 13: 143-148.
- Yaphe, W. y M. Duckworth. (1972). The relationship between structures and biological properties of agars. Proc. 7th Intern. Seaweed Symp. Univ. of Tokio. 15-22.
- Yang, S.S. (1982). Seasonal variation of the quality of agar-agar produced in Taiwan. En: (R. Tsuda y Y.M. Chiang, eds.) Proc. Rep. of China U.S. Cooperative Science Seminar on Cultivation and Utilisation of Economic Algae, 65-79.
- Yang, S.S. y C.Y. Wang. (1983). Effect of environmental factors on *Gracilaria* c.f. *verrucosa* (Rhodophyta) in Shantou District Guangdong, PROC. Botanica Marina, 27:265-268.

- Young, K., M. Duckworth y W. Yaphe. (1971). The structure of agar. Part III. Pyruvic acid, a common feature of agars from different agarophytes. *Carbohydrate Research*, 16: 446-448.
- Zanlungo, A.B. (1980). Polysaccharides from Chilean seaweeds. Part IX: Composition of the agar of *Gelidium lingulatum*. *Botanica Marina*, 23: 741-743.
- Zar, J.H.(1996). *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, Inglewood Cliffs, New Jersey. 662 pp.
- Zertuche-González, J.A. (1993). Situación actual de la industria de las algas marinas productoras de ficocoloides en México. En: J.A. Zertuche-González (ed.), *Situación Actual de la Industria de las Algas Marinas Productoras de Ficocoloides en América Latina y el Caribe*. FAO, México, 33-37.