

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**EVALUACIÓN DE BIOMASA Y EXTRACCIÓN DE
AGAR DEL ALGA ROJA *Gracilaria vermiculophylla*
(GRACILARIALES, RHODOPHYTA) DE LAGUNA SAN
IGNACIO, B.C.S., MÉXICO.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN
MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

PRESENTA

MARIO ANTONIO VERGARA RODARTE

La PAZ, B.C.S., MARZO DE 2009



SIP-14

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 10 del mes de Marzo del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

"EVALUACIÓN DE BIOMASA Y EXTRACCIÓN DE AGAR DEL ALGA ROJA *Gracilaria vermiculophylla*
(GRACILARIALES, RHODOPHYTA) DE LAGUNA SAN IGNACIO, B.C.S., MÉXICO"

Presentada por el alumno:

VERGARA
Apellido paterno

RODARTE
materno

MARIO ANTONIO
nombre(s)

Con registro:

A	0	7	0	3	5	8
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

DR. GUSTAVO HERNÁNDEZ CARMONA

PRESIDENTE

DR. JESÚS IVÁN MURILLO ÁLVAREZ

SECRETARIO

MC. YOLOXOCHITL E. RODRÍGUEZ MONTESINOS

SEGUNDO VOCAL

DR. RAFAEL RÍOSMENA RODRÍGUEZ

2º Director

TERCER VOCAL

MC. DORA LUZ ARVIZU HIGUERA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



IPN
CICIMAR
DIRECCION



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 17 del mes Marzo del año 2009, el (la) que suscribe BIOL. MAR. MARIO ANTONIO VERGARA RODARTE alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro A070358 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. GUSTAVO HERNÁNDEZ CARMONA y DR. RAFAEL RIOSMENA RODRÍGUEZ y cede los derechos del trabajo titulado: "EVALUACIÓN DE BIOMASA Y EXTRACCIÓN DE AGAR DEL ALGA ROJA *Gracilaria vermiculophylla* (GRACILARIALES, RHODOPHYTA) DE LAGUNA SAN IGNACIO, B.C.S., MÉXICO" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: ym491@hotmail.com gcarmona@ipn.mx riosmena@uabcs.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIOL. MAR. MARIO ANTONIO VERGARA RODARTE

nombre y firma

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	iii
GLOSARIO.....	iv
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	8
3. HIPÓTESIS.....	11
4. OBJETIVOS.....	12
4.1. Objetivo general.....	12
4.2. Objetivos particulares.....	12
5. ÁREA DE ESTUDIO.....	13
6. MATERIAL Y MÉTODOS.....	15
6.1. Evaluación de los mantos de <i>Gracilaria vermiculophylla</i> en Laguna San Ignacio.....	15
6.1.1. Evaluación estacional de la extensión y biomasa total de los mantos de <i>Gracilaria vermiculophylla</i>	15
6.1.2. Medición de temperatura.....	16
6.1.3. Experimentos de cosecha.....	16
6.2. Variación estacional de la calidad y rendimiento del agar nativo y alcalino.....	17
6.3. Efecto del tratamiento alcalino sobre el rendimiento y calidad del agar...	18
6.3.1. Efecto del tiempo de tratamiento alcalino del alga a nivel planta piloto sobre el rendimiento y calidad del agar.....	18
6.3.2. Preparación de algas con valor agregado.....	19
6.3.2.1. Alga <i>Gracilaria</i> Alcalinizada (AGA) y su estabilidad en almacenamiento.....	19
6.4. Pruebas de calidad (propiedades físicas del agar).....	20
6.5. Pruebas estadísticas.....	21
7. RESULTADOS.....	22

7.1.	Evaluación de los mantos de <i>Gracilaria vermiculophylla</i> en Laguna San Ignacio.....	22
7.1.1.	Evaluación estacional de la extensión y biomasa total de los mantos de <i>Gracilaria vermiculophylla</i>	22
7.1.2.	Medición de temperatura.....	24
7.1.3.	Experimentos de cosecha.....	26
7.2.	Variación estacional de la calidad y rendimiento del agar nativo y alcalino.....	26
7.3.	Efecto del tratamiento alcalino sobre el rendimiento y calidad del agar...	29
7.3.1.	Efecto del tiempo de tratamiento alcalino del alga a nivel planta piloto sobre el rendimiento y calidad del agar.....	29
7.3.2.	Preparación de algas con valor agregado.....	33
7.3.2.1.	Alga <i>Gracilaria</i> Alcalinizada (AGA) y su estabilidad en almacenamiento.....	33
8.	DISCUSIÓN.....	36
8.1.	Evaluación de los mantos de <i>Gracilaria vermiculophylla</i> en Laguna San Ignacio.....	36
8.1.1.	Variación estacional de la extensión y biomasa total de los mantos de <i>Gracilaria vermiculophylla</i>	36
8.1.2.	Experimentos de cosecha.....	38
8.2.	Variación estacional de la calidad y rendimiento del agar nativo y alcalino de <i>Gracilaria vermiculophylla</i>	39
8.3.	Efecto del tiempo de tratamiento alcalino sobre el rendimiento y calidad de agar.....	44
8.4.	Producción de algas con valor agregado (AGA) y su estabilidad en almacenamiento.....	45
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
10.	BIBLIOGRAFIA.....	50
11.	ANEXOS.....	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la agarobiosa [-(1→4)-β-D-galactopiranos-(1→3)-3,6-anhidro-α-L-galactopiranos].....	3
Figura 2. Diagrama de flujo para producción de agar. Modificado de Armisén y Galatas (1987).....	5
Figura 3. Ubicación de Laguna San Ignacio, B. C. S. y el estero La Pitahaya en la península de Baja California. Se muestra en línea punteada las áreas exploradas en busca de mantos de <i>G. vermiculophylla</i>	14
Figura 4. Variación estacional de la biomasa de <i>G. vermiculophylla</i> durante 2007-2008, en Laguna San Ignacio, Baja California Sur. Las barras verticales indican + 1 DE.....	23
Figura 5. Variación mensual de la temperatura de fondo del mar (4 m) en Laguna San Ignacio de 1997 a 2008.....	24
Figura 6. Localización de los mantos de <i>G. vermiculophylla</i> observados en 2007-2008 (rojo) y los observados en 2005-2006 (azul) (Vergara-Rodarte, 2006).....	25
Figura 7. Variación estacional del rendimiento del agar nativo (♦) y alcalino (■) de <i>G. vermiculophylla</i> de Laguna San Ignacio.....	26
Figura 8. Variación estacional de la fuerza de gel del agar nativo (♦) y alcalino (■) de <i>G. vermiculophylla</i> de Laguna San Ignacio.....	27
Figura 9. Variación estacional de la temperatura de fusión del agar nativo (♦) y alcalino (■) de <i>G. vermiculophylla</i>	28
Figura 10. Variación estacional de la temperatura de gelificación del agar nativo (♦) y alcalino (■) de <i>G. vermiculophylla</i>	29
Figura 11. Rendimiento promedio de agar alcalino extraído a partir de algas almacenadas durante tres años (♦ Algas 2004) y dos años (■ Algas 2005). Se presentan las medias y las barras representan ±1 DE.....	30
Figura 12. Fuerza de gel del agar de las algas de 2004 (♦) y 2005 (■), a diferentes tiempos de tratamiento alcalino.....	31
Figura 13. Temperatura de fusión del agar de las algas de 2004 (♦) y 2005 (■), a diferentes tiempos de tratamiento alcalino	32

Figura 14. Temperatura de gelificación del agar de las algas de 2004 (♦) y 2005 (-■-), a diferentes tiempos de tratamiento alcalino.....	32
Figura 15. Rendimiento (media y desviación estándar) de los AGA durante el año de estudio (♦ Algas 2004 y -■- Algas 2005).....	33
Figura 16. Fuerza de gel de los AGA durante el año de estudio (♦ Algas 2004 y -■- Algas 2005).....	34
Figura 17. Temperatura de fusión de los AGA durante el año de estudio (♦ Algas 2004 y -■- Algas 2005).....	35
Figura 18. Temperatura de gelificación de los AGA durante el año de estudio (♦ Algas 2004 y -■- Algas 2005).....	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rendimiento y fuerza de gel de las especies de <i>Gracilaria</i> más importantes a nivel mundial y de <i>G. vermiculophylla</i> analizada en varios estudios (modificado de Freile-Pelegrián, 2000).....	39
Tabla 2. Rendimiento y propiedades físicas del agar extraído de especies de <i>Gracilaria</i>	43

GLOSARIO

Agar nativo.- Agar extraído por el método de ebullición, filtrado, secado y molido, sin ninguna modificación química durante el proceso (Armisen y Galatas, 1987).

Agarofitas.- Algunas algas rojas del orden Gelidiales y Gracilariales (Rhodophyta), productoras de agar (McHugh, 2003).

Carragenano.- Es una mezcla de polisacáridos perteneciente a la familia de los galactanos. Difieren químicamente del agar en que el monómero 3,6-anhidro- α -D-galactosa toma el lugar del 3,6-anhidro-L-galactosa presente en el agar, y un mayor contenido de sulfatos (alrededor de 24%). Se obtiene principalmente de los géneros *Gigartina*, *Chondrus* y *Eucheuma* (McHugh, 2003).

Fuerza de gel.- Es el peso resistido en un cm^2 de un coloide (con densidad conocida), en un tiempo y temperatura determinado (IFOP, 2009).

Galactanos.- Familia de polisacáridos formados por monómeros de galactosa. Por ejemplo: el agar y el carragenano (Yalpani, 1988).

Galactosa.- Es un monosacárido de la familia de las aldohexosas, que forma parte de la lactosa (Yalpani, 1988).

Monosacáridos.- También llamados azúcares sencillos, están constituidos por una sola unidad de polihidroxialdehído o polihidroxiketona (Lehninger, 1980).

Polisacáridos.- Son biomoléculas formadas por la unión de monosacáridos. Cumplen funciones diversas, pero principalmente energéticas y estructurales (Lehninger, 1980).

Pseudoperenne.- Son poblaciones de plantas donde la mayor parte pasa las estaciones adversas en una forma perenne pero reducida (Santelices, 2004).

Sinéresis.- Es la eliminación de agua a través de la superficie de un gel causado por un reajuste interno de las moléculas perdiendo su capacidad de retener el agua (Armisen y Galatas, 1987).

Stock.- Fracción de la población que está disponible a la pesca

Surgencia.- Es un fenómeno oceanográfico que consiste en el movimiento vertical de las masas de agua, de niveles profundos hacia la superficie, las cuales son ricas en nutrientes (Miller, 2004).

Temperatura de fusión.- Es la temperatura a la cual una solución de agar a cierta concentración en estado sólido (generalmente 1.5%) mediante calentamiento se derrite pasando a un estado líquido (Armisen y Galatas, 1987).

Temperatura de gelificación.- Es la temperatura a la cual una solución de agar líquida al enfriarse pasa a un estado sólido (Armisen y Galatas, 1987).

RESUMEN

El género *Gracilaria* es el más importante como materia prima a nivel mundial en la industria del agar, aportando el 60% de la materia prima. La población de *Gracilaria vermiculophylla* que se encuentra en Laguna San Ignacio, Baja California Sur, ha sido poco estudiada, por lo que en este trabajo se analizaron algunos factores que determinan la posibilidad de su aprovechamiento comercial. Se realizó la evaluación de la biomasa en campo y el efecto post cosecha. Se estimó un total de 1,300 t húmedas ± 516 (130 t secas) en Laguna San Ignacio con la mayor parte de la biomasa concentrada en primavera con 1004 t (100 t secas). Esta cantidad podría incrementarse con un adecuado régimen de cosechas en primavera (más de una cosecha estacional). Se analizó la variación estacional del rendimiento y calidad del agar nativo y alcalino mediante muestreos estacionales de otoño 2007 a verano 2008. El rendimiento y calidad del agar alcalino durante el año de estudio, mostró los valores más altos de rendimiento en verano (17%), de fuerza de gel en primavera ($1,132 \text{ g cm}^{-2}$), de temperatura de fusión en invierno (98°C) y temperatura de gelificación en verano (68°C). Estos valores de rendimiento y calidad son similares a los obtenidos con las principales especies de *Gracilaria* a nivel mundial. La coincidencia en obtener la mayor fuerza de gel con la mayor biomasa presente en primavera, hacen a esta estación aun más atractiva para la explotación del alga. Se experimentó a nivel planta piloto, el efecto del tiempo de tratamiento alcalino (NaOH). Se encontró que para la extracción de agar, el mejor tiempo de tratamiento alcalino fue de 30 min con incrementos significativos en la calidad para las algas de 2005. Posterior a los 30 min, la calidad disminuyó significativamente. Se desarrolló un producto denominado “Alga *Gracilaria* Alcalinizada” (AGA) en el que las algas fueron tratadas con NaOH y secadas, quedando listas para posteriormente llevar a cabo la extracción del agar. Se determinó el rendimiento y calidad del agar contenido en el AGA después de un año de almacenamiento. Se tomaron muestras cada mes durante los primeros tres meses, después se realizaron tres muestras bimestrales y por último una muestra en el doceavo mes de almacenamiento. Se encontró una disminución significativa en el rendimiento de agar a partir de tres años de almacenamiento de las algas. La calidad y el rendimiento del agar del AGA se

mantuvieron constantes durante el año de estudio, esto sugiere que el tratamiento alcalino es un buen método para evitar la hidrólisis del agar durante el almacenamiento.

ABSTRACT

The algae of the genus *Gracilaria* are the most important on a world-wide level for the agar production industry, providing 60% of the raw material. There are few studies about the population of *Gracilaria vermiculophylla* in Laguna San Ignacio, Baja California Sur. We studied some of the factors that may determine the possibility of commercial exploitation of *Gracilaria* in Laguna San Ignacio. We assessed the total biomass and the post-harvest effect on the algae recovering. A total weight of 1,300 wet tons $\pm$ 516 ton (130 dried tons) of *G. vermiculophylla* was estimated for San Ignacio Lagoon, with 1,004 wet tons (100 dried tons) in spring. This amount could be increased using an appropriate harvesting regime during spring (more than one harvesting per season). We also analyzed the seasonal variation of the yield and quality of native and alkaline agar in the laboratory from autumn 2007 to spring 2008. The seasonal variation of the yield and agar quality with alkali treatment showed the highest yield in summer (17%), highest gel strength in spring (1,132 g cm⁻²), highest melting temperature in winter (98 °C) and highest gelling temperature in summer (68 °C). The values obtained in this research are within the range of the most important *Gracilaria* species harvested world-wide. The coincidence of the higher gel strength with the maximum biomass in spring makes this season more suitable for the commercial exploitation of *G. vermiculophylla*. We also experimented the effect of alkali treatment time with sodium hydroxide (NaOH) at the Pilot Plant level. We found that during the agar extraction step the best results were obtained at 30 minutes of treatment. After that time the quality decreased significantly. We developed a new product named Pretreated *Gracilaria* Seaweed (PGS), which consists of the seaweeds treated with NaOH and dried, ready for agar extraction in boiling water. We sampled the PGS every month during the three first months, every two months the next six months, and one last sample was obtained after 12 months of storage. We determined the yield and quality of the agar in the PGS after one year of storage. We found that the yield was significantly reduced after three years of storage. The PGS showed stability in both yield and agar quality during the storage year, this suggested that alkali treatment is a good method to avoid the agar hydrolysis during storage.

1. INTRODUCCIÓN

Las macroalgas son de gran importancia ecológica como productores primarios y también participan en procesos ecológicos como nichos de reclutamiento, reproducción y crianza de distintas especies de peces e invertebrados (Dawes, 1986). También, la abundancia, diversidad y valor económico que llegan a tener algunas algas ha permitido que se conviertan en materia prima para, alimento humano y animal, medicinas, fertilizantes, fuente de ficocoloides y metano (McHugh, 2003). Las algas rojas son importantes no solo como fuentes de agar y carragenano, también son ricas en ácido araquidónico y eicosapentanoico, que son importantes para la salud humana y animal. Estos ácidos son precursores en la biosíntesis de prostaglandinas que son importantes reguladores de muchos procesos celulares (Khotimchenko, 2005; Castellanos-González *et al.*, 2003).

Gracilaria vermiculophylla Ohmi (Papenfuss) pertenece al orden Gracilariales, el cual está bien definido desde el punto de vista anatómico y molecular dentro de la clase rodofita, pero la taxonomía a nivel de especie es mucho más compleja (Fredericq y Hommersand, 1990; Harper y Saunders, 2001). Actualmente se siguen modificando los nombres científicos y se reidentifican muchas otras especie tal como ha sucedido con *G. vermiculophylla* (Bellorin *et al.*, 2004; Thomsen *et al.*, 2005; Freshwater *et al.*, 2006).

El género *Gracilaria* es el tercero más numeroso dentro de las rodofitas con más de 150 especies que se distribuyen en aguas someras de regiones tropicales, templadas y frías de todo el mundo (Aguilar-Rosas *et al.*, 1993; Byrne *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 1999; Rueness, 2005). Se caracteriza por presentar una estructura multiaxial y una anatomía parenquimatosa. Tiene un ciclo de vida trifásico (característico de algas rojas), de talos cilíndricos o aplanados, con tetrasporangios cruzados y cistocarpos prominentes sobre la superficie del talo (Bold y Wynne, 1985; Dawes, 1986). Presenta un crecimiento coalescente (Santelices, 2001) con una periodicidad pseudoperenne (Núñez-López y Casas-Valdez, 2000). Crece de forma abundante solo en zonas específicas dentro de una misma región y generalmente es difícil ampliar las zonas de crecimiento, por lo tanto puede resultar improductivo (Glenn *et al.*, 1999).

El género *Gracilaria* habita principalmente en aguas someras en mar abierto, dentro de estuarios y lagunas costeras. Presenta una gran plasticidad fenotípica relacionada generalmente con la variación de la irradiancia. Esta plasticidad se puede observar en la morfología del talo, las tasas de crecimiento de esporas, la tolerancia a la desecación, la afinidad a nutrientes, etc. (Gómez *et al.*, 2005).

G. vermiculophylla fue originalmente descrita a partir de recolectas en la Laguna de Akkeshi, Japón (Ohmi, 1956). Se caracteriza por tener un talo vermiforme, cilíndrico, robusto y muy ramificado sin constricciones basales. Una longitud máxima por arriba de 100 cm y 5 mm de diámetro. Presenta una transición en el tamaño de las células de la corteza a la médula, conceptáculos espermatangiales profundos (a más de 90 μm). Cadenas regulares de carposporangios, células tubulares nutritivas orientadas hacia abajo y raramente orientados hacia arriba (Bellorin *et al.*, 2004). Posteriormente se reportó en regiones tropicales, subtropicales y templadas tanto del Pacífico como del Atlántico. Esta amplia distribución del alga alrededor del mundo bajo condiciones ambientales muy distintas, sugiere que esta especie tiene un gran potencial para tolerar un amplio rango de condiciones ambientales (Phooprong *et al.*, 2007).

El uso industrial que se le da a *Gracilaria*, es principalmente como materia prima para la producción de agar. También puede consumirse directamente en platillos y ensaladas, en la agricultura como fertilizantes y como fuente de metabolitos con acción terapéutica (Brock y Shintaku, 1996; McHugh, 2003; Iknur y Cirik, 2004). El agar se encuentra dentro de la matriz celular del alga y se cree que es secretado por el aparato de Golgi. La matriz celular está compuesta de dos elementos principales, uno fibrilar (celulosa) y otro mucilaginoso. El agar es el componente mucilaginoso y es fácil de extraer (Armisen, 1999). Este se utiliza principalmente como agente gelificante en alimentos procesados, cosméticos y productos farmacéuticos, además de tener aplicaciones en medicina y biotecnología (Armisen y Galatas, 2000; Marinho-Soriano y Bourret, 2005).

El agar es un polisacárido (galactano) sulfatado en menor o mayor grado dependiendo de la especie y el método de extracción. El modelo ideal está representado por la agarobiosa, cuya unidad básica se compone por dos

monosacáridos alternantes de D-galactosa y L-3,6-anhidrogalactosa con enlace 1-4 y 1-3 respectivamente (Fig. 1). En conjunto el agar está formado por dos fracciones, la agarosa y la agaropectina. La agarosa (cadenas largas de agarobiosa) es un componente neutro del agar que le da el poder gelificante y el valor económico, debido a su bajo grado de sulfatación; mientras que ocurre lo contrario con la agaropectina ya que es la fracción sulfatada no gelificante (Armisen y Galatas, 1987; Armisen, 1995; Freile-Pelegrín y Robledo, 1997a).

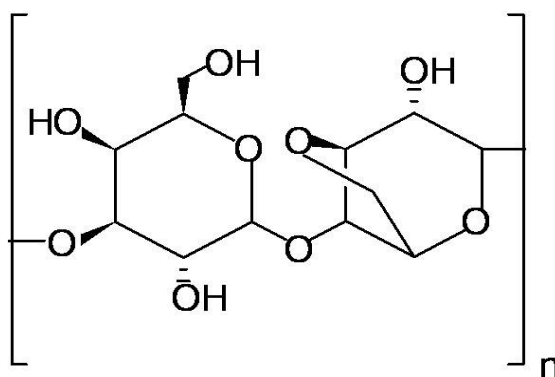


Figura 1. Estructura de la agarobiosa. -(1→4)-β-D-galactopiranososa-(1→3)-3,6-anhidro-α-L-galactopiranososa.

La baja fuerza de gel y de sinéresis (factores de calidad) del agar nativo obtenido de especies de *Gracilaria*, lo hace muy útil en aplicaciones como en productos bajos en calorías, sustituyendo las grasas y en productos de textura suave (Pereira-Pacheco *et al.*, 2007).

Una manera de solucionar la alta concentración de grupos sulfatos y la baja cantidad de agarosa del agar de *Gracilaria* es por medio de un tratamiento alcalino con hidróxido de sodio. A nivel industrial, el tratamiento alcalino debe ser controlado cuidadosamente para disminuir al máximo la contaminación generada por los flujos de residuos alcalinos y las grandes cantidades de agaropectinatos de sodio (Armisen, 1995; Pereira-Pacheco *et al.*, 2007).

Las agarofitas de mayor preferencia por su calidad y rendimiento de agar son las del género *Gelidium* (Armisen and Galatas, 1987; Mouradi-Givernaud *et al.*, 1999; Casas-Valdez *et al.*, 2005), sin embargo, las poblaciones naturales han disminuido debido a la sobre explotación y su cultivo no es viable debido a su baja tasa de

crecimiento (dos años para alcanzar una talla comercial) (Steward, 1984; Freile-Pelegri y Robledo, 1997a). *Gracilaria* es un género de rápido crecimiento y se reproduce fácilmente por fragmentación, lo que posibilita su cultivo. Así la disponibilidad de *Gracilaria* en poblaciones naturales y también en cultivo, han hecho que sea la principal fuente de materia prima para la extracción de agar a nivel mundial, aportando alrededor del 60% (Freile-Pelegri y Robledo, 1997a; Guzmán-Urióstegui y Robledo, 1999).

Actualmente el cultivo de *Gracilaria* se desarrolla con éxito en varios países como Chile, Japón, Filipinas, Estados Unidos y otros (Brock y Shintaku, 1996; Santelices y Fonck, 1979). La importancia económica de *Gracilaria*, ha motivado a los científicos a realizar la identificación correcta de las especies y describir su distribución (Bellorín *et al.*, 2004; Rueness, 2005; Thomsen *et al.*, 2005).

El precio y la aplicación del agar dependen de su calidad, la cual se puede medir a través de las propiedades físicas del gel que forma. Las más importantes son la fuerza de gel, temperatura de fusión y de gelificación (Armisen y Galatas, 1987). La determinación de estas propiedades constituye un método indirecto para especular sobre la composición química del agar. Por ejemplo, la temperatura de gelificación es influenciada por el grado de metoxilación del carbono 6 de la agarosa, una mayor metoxilación del C-6 corresponde a una mayor temperatura de gelificación. Curiosamente la metoxilación del resto de los carbonos reduce la temperatura de gelificación y la fuerza de gel al mismo tiempo. La fuerza de gel es la propiedad más importante, ya que también tiene una relación directa con el contenido de L-3,6-anhidrogalactosa (3,6-AG). Entre más alta es la concentración de 3-6-anhidrogalactosa y menor la sulfatación, mayor será la fuerza de gel. (Armisen, 1999; Armisen y Galatas, 2000).

En el proceso de producción de agar, existen diferencias en el tratamiento de las algas antes de la extracción (Fig. 2) dependiendo del género utilizado. *Gelidium* solamente se lava para remover arena, sal, conchas y otras partículas extrañas, para luego extraer el agar con agua caliente. *Gracilaria* también es lavada, pero esta debe ser tratada con una solución alcalina de NaOH antes de la extracción, con el que se

transforma parte de la L-galactosa en L-3,6-anhidrogalactosa dando como resultado un agar con mayor fuerza de gel (McHugh, 2003).

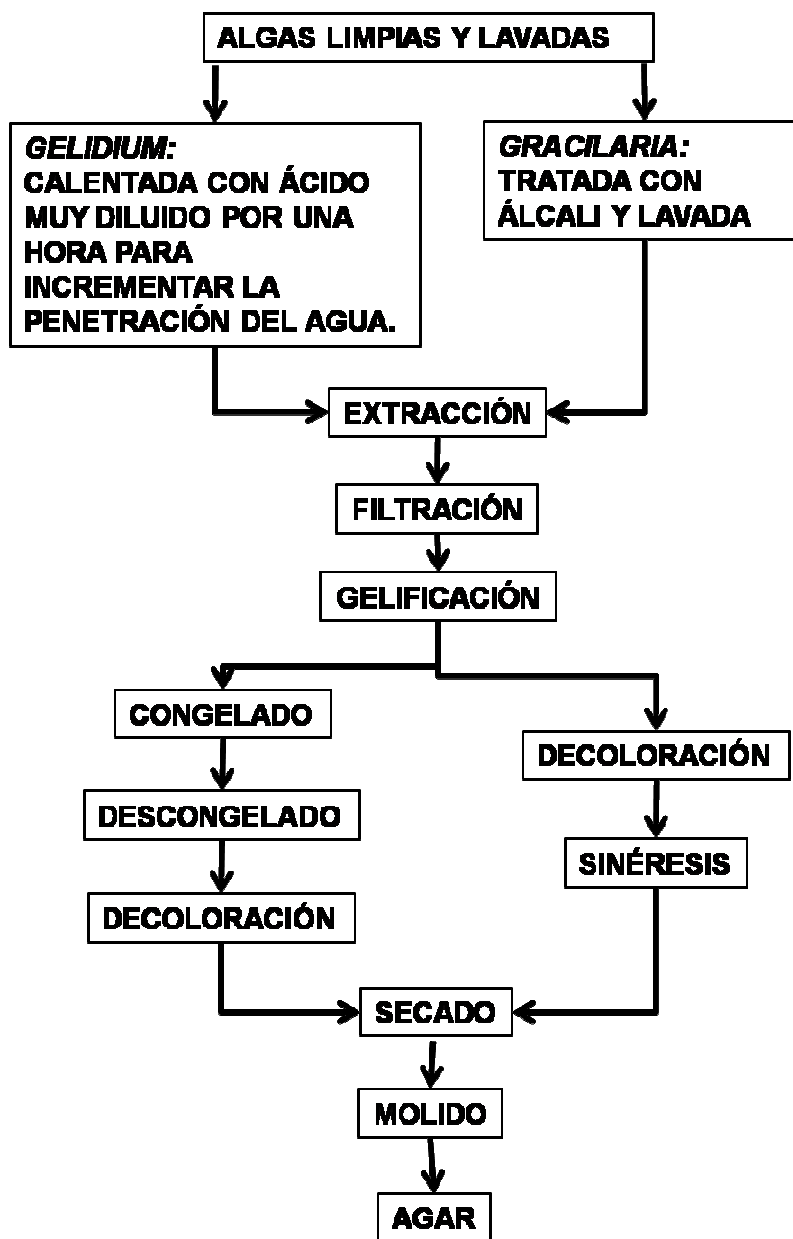


Figura 2. Diagrama de flujo para producción de agar. Modificado de Armisén y Galatas (1987).

Cuando el alga proviene de stocks naturales, se debe tomar en cuenta que el rendimiento y la calidad del agar varían estacionalmente debido a las diferentes condiciones ambientales. También se debe considerar que puede haber una

estacionalidad de los diferentes estados reproductivos y vegetativos y que la calidad puede variar de acuerdo a ello (Marinho-Soriano *et al.*, 1999).

Después de la cosecha del alga, el rendimiento y calidad del agar pueden verse afectadas no solo por las condiciones de la extracción, sino también por las condiciones y duración del almacenamiento antes de la extracción. Esto debido a la degradación de los polisacáridos en el alga cuando ésta es almacenada por periodos de más de un año (Romero *et al.*, 2008).

Hasta el 2002, Chile, España y Japón producían 60% del total de agar, que junto con otros 50 productores procesaron un total de 55,000 t (peso seco) de agarofitas con las que se produjeron 7,500 t de agar, con un valor de \$132 millones de dólares. El desarrollo de nuevas aplicaciones es lento y la tasa de crecimiento de la industria del agar se estima en el uno ó dos por ciento al año, muy similar al de los últimos treinta años (McHugh, 2002).

Los precios del agar a nivel mundial hasta el tercer cuarto del 2008, estaban en promedio a \$20.1 USD por kg y particularmente en Europa se cotizaba en \$21.5 USD por kg. La producción china de agar seguía siendo fuerte pero no al precio competitivo del pasado, ya que estaban \$2-3 USD por kg más bajos que otras fuentes como Marruecos, España y Chile. Además se espera que esta industria siga creciendo gracias a la alta demanda de hidrocoloides a nivel mundial (Secretaría de Economía, 2008).

En México la exportación de agar durante el 2008 fue de 34.5 t, 40% mayor que en 2007. Mientras que la importación tuvo una disminución de alrededor del 50% durante el 2008. Los principales países de los cuales se importa agar a México son España, Chile, Portugal, Marruecos y USA, mientras que los principales compradores del agar mexicano son Estados Unidos, España, Cuba y la Comunidad Europea (Anexo 1 y Anexo 2). Las compañías exportadoras de agar en México son AGARMEX S.A. y Manufacturera Dental Continental S. A. de C. V. Las compañías importadoras son alrededor de 25, de las cuales la mayoría son farmacéuticas o alimenticias (Hydrocolloid, 2008).

La explotación de mantos de macroalgas en México se concentra en el Pacífico noroccidental, que es la zona más rica del país en cuanto a biomasa de macroalgas

de valor comercial. Particularmente la zona al norte de los 26 grados latitud N en el Pacífico (Zertuche-González y García-Esquivel, 1993). En total, entre el Golfo de California y el Pacífico existen más de 50 especies que potencialmente podrían ser comercializadas (Zertuche-González, 1993). De estas el género *Gracilaria* es el más susceptible a ser explotado e industrializado (Aguilar-Rosas, 1982).

También se debe tener en cuenta que la cantidad de biomasa removida de un stock silvestre puede causar un efecto negativo significativo sobre la sustentabilidad a largo plazo de este recurso. Sin embargo, a pesar de la importancia económica de estas algas, se conoce poco de su biología, química y fisiología lo que no permite el establecimiento de una política de manejo adecuada o la implementación de cultivos de gran escala (Hernández-González *et al.*, 2007).

En este trabajo se estudiaron los mantos de *G. vermiculophylla* en Laguna San Ignacio de manera estacional durante un año (noviembre 2007 – septiembre 2008), con la finalidad de calcular la biomasa total de los mantos, y de forma paralela evaluar la calidad de agar a nivel laboratorio y el efecto del tratamiento alcalino a nivel planta piloto sobre el rendimiento y las propiedades físicas y la obtención del AGA, un producto con valor agregado que consiste en las algas alcalinizadas y secadas.

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

En México la industrialización de las macroalgas, se ha practicado continuamente desde hace más de 50 años (Anexo 3). Desde entonces se han explotado tres especies principales; *Macrocystis pyrifera* para la producción de alginatos, *Gelidium robustum* para la producción de agar y *Gigartina canaliculata* para la producción de carragenano (Zertuche-González, 1993). Sin embargo, actualmente la única especie que se continúa explotando de manera regular es *G. robustum* y por lo tanto es la principal fuente de materia prima para la extracción de agar en México (Freile-Pelegín *et al.*, 1999). Por muchos años, la explotación de *G. robustum* representó el segundo lugar en producción de algas marinas en México, después de *Macrocystis pyrifera* que se exportaba en su totalidad a Estados Unidos. Pero con el cierre de la compañía productora de alginatos (Kelco) a finales del 2006, *Gelidium* es ahora el alga de mayor biomasa cosechada. Sin embargo, el volumen cosechado no es suficiente para satisfacer la demanda nacional de agar. Esto se debe en parte a que el 40% de la producción del alga es exportada como materia prima y paradójicamente se tienen que importar grandes cantidades de agar (Anexo 1 y 2) para abastecer totalmente la creciente demanda nacional. Esto ocurre por las diferencias en la calidad del agar producido en México a partir de *Gelidium* y la calidad que requiere el mercado nacional que es menor, por lo que la mayor parte de la producción de agar se exporta (Zertuche-González y García-Esquivel 1993). De esta manera es de gran importancia encontrar fuentes alternativas de agar que cumplan con las características adecuadas de precio y calidad que requiere el mercado nacional, y una de estas fuentes podría llegar a ser *Gracilaria vermiculophylla*.

En México el interés sobre *Gracilaria* inició a finales de los 80's con investigaciones sobre el desarrollo de cultivos en el estero Punta Banda (Zertuche-González y García-Esquivel, 1993) y posteriormente se trabajó sobre su biología reproductiva (Aguilar-Rosas *et al.*, 1993) y crecimiento (Aguilar-Rosas *et al.*, 2000), pero no hubo ningún trabajo dedicado a evaluar el volumen cosechable. Solamente se tienen estimaciones de biomasa cosechable en mantos de *G. vermiculophylla* localizados en Laguna San Ignacio. Esas primeras estimaciones se realizaron desde

un avión. Los mantos observados tenían un área de 60 hectáreas con densidades de 5 a 15 kg m⁻² (peso húmedo). Con esos datos se estimó un volumen cosechable de 9,000 t húmedas, que equivalen a 900 t secas al año en esa zona (Zertuche-González, 1993) considerando la biomasa máxima (15 kg m⁻²). Sin embargo se debe tomar con reserva esa información, ya que no corresponde a una investigación con una metodología científica. En el nivel más bajo (5 kg m⁻²) citado por Vergara-Rodarte (2006), equivaldría a 300 t secas.

Un estudio realizado anteriormente (Vergara-Rodarte, 2006), en los mantos de *G. vermiculophylla* en tres zonas de Laguna San Ignacio (boca, media y cabeza), se evaluó el peso húmedo por metro cuadrado, estructura de tallas y el estado reproductivo. Se encontró que el 99% del alga se concentra en la boca de la laguna con un valor promedio de biomasa de 2.5 kg m⁻² lo que equivale a un rendimiento de 25 t ha⁻¹. También encontró que el estado reproductor dominante durante todo el año es el tetrasporofito.

En los últimos años a nivel mundial se han publicado algunos trabajos sobre *G. vermiculophylla*, que en su mayoría tratan sobre su descubrimiento e identificación como un alga invasora. En la costa oeste de la Península de Baja California, se identificó a *G. vermiculophylla* a partir de muestras que previamente habían sido catalogadas como *Gracilaria pacifica* (Bellorin *et al.*, 2004). Posteriormente se encontró *G. vermiculophylla* en Virginia, USA (Thomsen *et al.*, 2005) y Carolina del Norte, USA (Freshwater *et al.*, 2006). También se ha documentado la invasión de *G. vermiculophylla* en Europa (Ruennes, 2005; Thomsen *et al.*, 2007; Wienberger *et al.*, 2008) y se espera una expansión en la distribución de esta especie a través de las costas europeas.

Respecto a su fisiología, se sabe que la fijación y liberación de nitrógeno en *G. vermiculophylla*, ocurre en una escala de tiempo entre minutos y horas (Tyler y McGlathery, 2006). La respuesta fotosintética y respiratoria de *G. vermiculophylla* se ve modificada por las condiciones ambientales prevalecientes en su hábitat (Phooprong *et al.*, 2007).

En estudios previos, sobre el rendimiento y propiedades físicas del agar extraído a partir de *G. vermiculophylla* se encontró que esta alga sintetiza un agar

nativo de baja fuerza de gel (108 g cm^{-2}), la cual aumentó después de un tratamiento alcalino (195 g cm^{-2}) (Mollet *et al.*, 1998). De manera similar la fuerza de gel del agar nativo extraído a partir de *G. vermiculophylla* y *G. longissima* recolectadas en el Golfo de California resultó muy bajo, con 85 g cm^{-2} (Orduña-Rojas *et al.*, 2008b). En los dos casos mencionados, el agar alcalino presentó una disminución significativa en el contenido de sulfatos y se incrementó el contenido de 3,6-AG de un porcentaje menor de 10 a más de 40% después de un tratamiento con hidróxido de sodio entre el 7 y 9%. La fuerza de gel que en un principio fue menor a 50 aumentó entre 127 g y hasta 177 g cm^{-2} . En cuanto a la variación estacional del contenido y calidad de agar nativo de *G. vermiculophylla*, Orduña-Rojas *et al.* (2008a), encontraron la mayor parte del año una fuerza de gel por debajo de los 22 g cm^{-2} , con altos contenidos de sulfatos y baja concentración de 3,6-AG.

En un trabajo más relacionado con este estudio, Arvizu-Higuera *et al.* (2008), evaluaron el efecto del tiempo de tratamiento alcalino sobre la fuerza de gel, temperatura de fusión y gelificación del agar extraído de *G. vermiculophylla* colectada en Laguna San Ignacio a nivel laboratorio. En este estudio se encontró que conforme se incrementa el tiempo de tratamiento alcalino por encima de 30 minutos, la fuerza de gel y el rendimiento disminuyen, por lo que 30 minutos se considera el mejor tiempo.

Los estudios con otras especies del género *Gracilaria* son numerosos y muy diversos, abarcando desde la calidad y rendimiento de su agar, métodos para mejorar la calidad, el fraccionamiento y la caracterización de sus polisacáridos (Freile-Pelegrián y Robledo, 1997a y 1997b; Marinho-Soriano *et al.*, 1999; Byrne *et al.*, 2002; Freile-Pelegrián *et al.*, 2002; Castellanos-González *et al.*, 2003; Espinoza-Avalos *et al.*, 2003; Freile-Pelegrián y Murano, 2005; Marinho-Soriano y Bourrret, 2005; Andriamanantoanina *et al.*, 2007; Meena *et al.*, 2008), por mencionar algunos.

3. HIPÓTESIS

- La biomasa de *Gracilaria vermiculophylla* en Laguna San Ignacio es suficiente para abastecer de materia prima a una empresa de nivel industrial (>200 t secas por año)
- Las propiedades físicas del agar nativo de *G. vermiculophylla* pueden ser modificadas para obtener un agar con calidad superior al de grado alimenticio (>300g cm⁻²)
- Durante el proceso de producción de agar, se pueden obtener productos semirrefinados con utilidad en la industria.
- Los productos semirrefinados pueden tener una estabilidad en su rendimiento y propiedades físicas de su agar al menos durante un año de almacenamiento.

4. OBJETIVOS

4.1. *Objetivo general*

Determinar si el alga *G. vermiculophylla* encontrada en Laguna San Ignacio, B.C.S., México, reúne las características de un especie susceptible de ser explotada comercialmente, en términos de biomasa total y propiedades físicas de su agar.

4.2. *Objetivos particulares*

1. Evaluar estacionalmente la extensión y la biomasa disponible en los mantos de *Gracilaria vermiculophylla* de Laguna San Ignacio.
2. Determinar el efecto de la temperatura sobre la biomasa de *Gracilaria vermiculophylla*.
3. Evaluar la recuperación post-cosecha.
4. Determinar la variación estacional de la calidad y el rendimiento de agar nativo y alcalino.
5. Determinar el efecto del tiempo de tratamiento alcalino sobre el rendimiento y propiedades físicas del agar a nivel de planta piloto.
6. Producir a nivel de planta piloto algas pretratadas (AGA, por sus siglas: Alga *Gracilaria* Alcalinizada)
7. Determinar el efecto del tiempo de almacenamiento del AGA sobre el rendimiento y propiedades físicas del agar.

5. ÁREA DE ESTUDIO

Laguna San Ignacio (Fig. 3), se localiza en la costa occidental de la Península de Baja California. Forma parte de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno. La laguna tiene un área aproximada de 150 km², con una longitud de 30 km y un ancho variable de 2 a 6 km. Por su ubicación geográfica es una zona de transición entre aguas templadas y tropicales, tienen una gran variación estacional de temperatura del mar (hasta 10 °C) y fuertes vientos durante todo el año. Estas condiciones provocan una alta tasa de evaporación y consecuentemente una alta salinidad en esta laguna, así como en las lagunas cercanas como Ojo de Liebre y Manuela. Debido a este comportamiento se les llama lagunas hipersalinas o antiestuarios (Winant y Gutiérrez-Velasco, 2003; Gutiérrez de Velasco y Winant, 2004).

Laguna San Ignacio es somera con una profundidad promedio de 3 m. La profundidad máxima es de 24 m en el área de canal de entrada. El máximo intervalo mareal ocurre en los meses de febrero y marzo. Cuenta con un sistema de canales separados por grandes bajos de arena. La costa presenta playas arenosas, áreas de conglomerados roca-concha y zonas de manglar compuestas por *Rhizophora mangle* (Nuñez-Lopez y Casas-Valdez, 2000; Winant y Gutiérrez de Velasco, 2003).

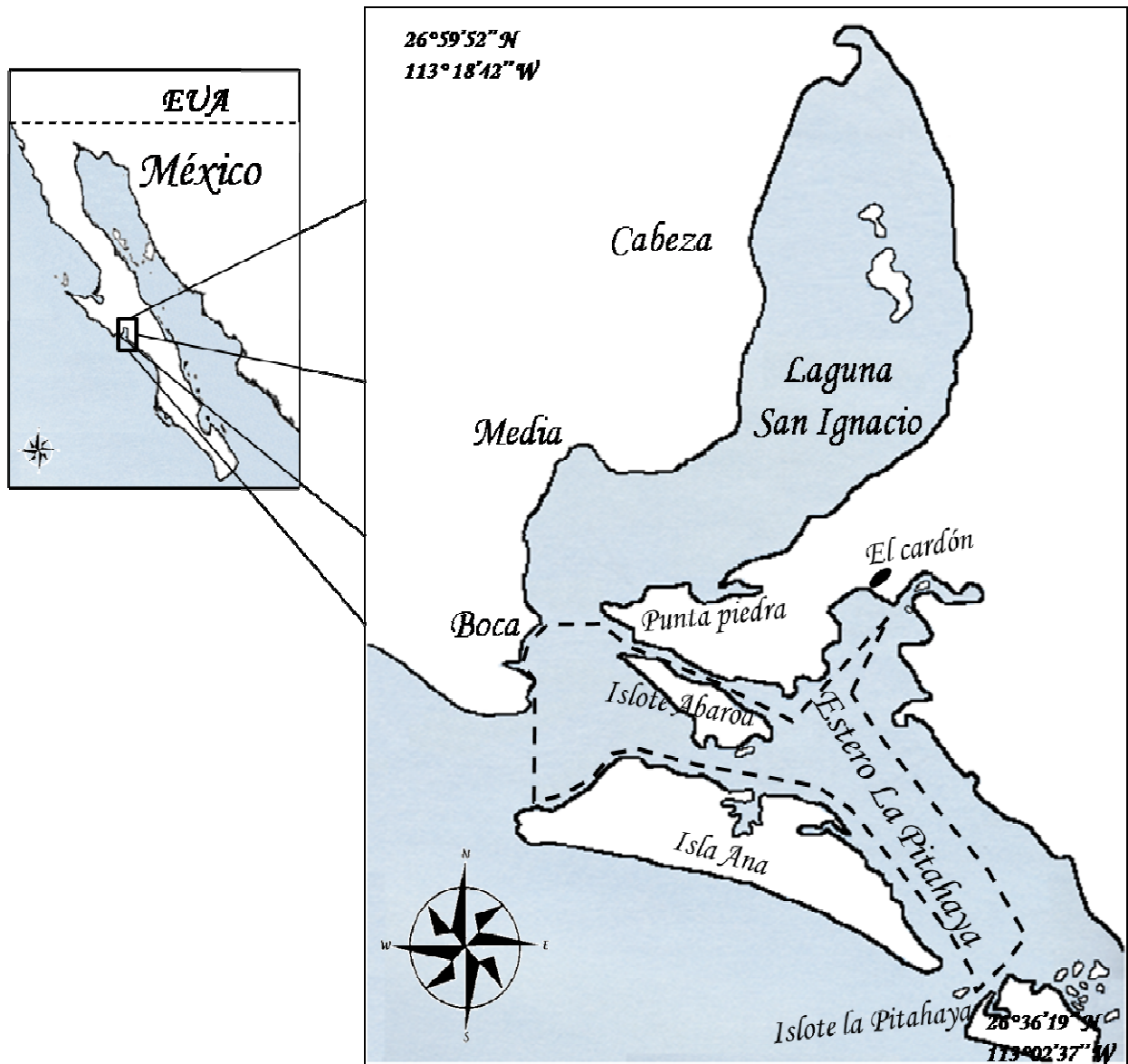


Figura 3. Ubicación de Laguna San Ignacio, B. C. S. y el estero La Pitahaya en la península de Baja California. Se muestra en línea punteada las áreas exploradas en busca de mantos de *G. vermiculophylla*.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1. Evaluación de los mantos de *Gracilaria vermiculophylla* en Laguna San Ignacio

6.1.1. Evaluación estacional de la extensión y biomasa total de los mantos de *Gracilaria vermiculophylla*

La extensión y biomasa de los mantos de *G. vermiculophylla* se calculó estacionalmente para determinar su variabilidad y presencia. Los muestreos se realizaron en otoño (noviembre de 2007), invierno (febrero de 2008), primavera (mayo de 2008) y verano (septiembre de 2008). Las zonas exploradas fueron la boca de Laguna San Ignacio y El Estero La Pitahaya (Fig. 3). Una vez ubicado un manto se recorrió su contorno lentamente navegando en una panga o caminando si la profundidad lo permitía. Con un equipo de posicionamiento global (GPS, Lowrance, modelo: Finder-Explorer) se registraron puntos aproximadamente cada 5 a 10 m, hasta cubrir todo el perímetro del manto. El área del manto se calculó con el programa MapInfo Professional ver 8.0. Una vez terminado el recorrido del contorno, se evaluó el porcentaje de cobertura mediante 10 cuadrantes de 1 m² a lo largo de un transecto de 50 m. Para obtener la biomasa por unidad de área, se tomaron 10 muestras de 1 m², sobre sitios con cobertura cercana al 100% y a partir de estos se calculó la media y la desviación estándar. De esta manera se dedujo el área del manto cubierto de arena y se evaluó únicamente la superficie cubierta de alga.

En cada cuadrante se cosecharon las algas en forma manual y guardaron en una bolsa de malla. Las bolsas se transportaron a bordo de la panga, se dejaron escurrir y se pesaron. Las algas recolectadas se secaron al sol sobre lonas de plástico durante dos días o tres. Una vez secas, se molieron en un molino de martillos, para realizar las mediciones estacionales de rendimiento y calidad del agar. El cálculo de la biomasa total presente en cada uno de los mantos se calculó con la siguiente fórmula:

$$\beta_t = \beta_m * (A_t * C_m)$$

Donde: β_t = Biomasa Total

β_m = Biomasa media muestral

A_t = Área total (m²)

C_m = Cobertura algal (%)

Para cada cálculo de biomasa se estimó su desviación estándar utilizando la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Donde: s = Desviación estándar

x = Dato muestral de biomasa

$\bar{x}$ = Media muestral de biomasa

n = Número total de muestras

Se construyó un intervalo de confianza de ± 1 desviación estándar.

6.1.2. Medición de temperatura

Se colocó un sensor de temperatura tipo HOBO de la compañía ONSET, el cual se programó para registrar la temperatura del mar a intervalos de una hora. El equipo se instaló en la salida del estero El Cardón, a una profundidad de 4 m, que es similar a la profundidad a la que se encontraron los mantos de *Gracilaria*. El periodo de lecturas fue del 18 de febrero 2007 al 8 de agosto de 2008. También se obtuvieron datos de temperatura tomados en el estero La Pitahaya en los años de 1997, 1998, 1999, 2000, 2001 y 2005, los cuales fueron proporcionados por la empresa Sol Azul que se encuentra en El Cardón.

6.1.3. Experimentos de cosecha

Se realizaron cosechas estacionales en los mantos de mayor extensión en otoño, invierno y primavera. En cada manto localizado se seleccionaron áreas con una cobertura del 100% del alga y se enterraron 6 estacas de metal de 60 cm de largo, con un disco al centro de 9 cm de diámetro, para evitar que se desenterraran del sustrato arenoso. En cada estaca se cosecharon todas las algas en un radio de 1 m, dando un área total de 3.14 m². A cada estaca se le colocó una boya con el suficiente cabo para hacerlas visibles desde la superficie.

Cada grupo de cuadrantes marcados con las estacas se revisó estacionalmente (3 meses después) para cosechar el alga que hubiera crecido nuevamente en esa misma área. De esta manera se evaluó la recuperación estacional de un manto después de la cosecha.

6.2. Variación estacional de la calidad y el rendimiento de agar nativo y alcalino

Para determinar la variación estacional se emplearon muestras recolectadas en los muestreos realizados en Laguna San Ignacio en otoño de 2007, invierno, primavera y verano de 2008. Las algas se recolectaron a mano y se secaron al sol. Se llevaron al laboratorio, se pesaron y molieron. Las extracciones de agar se hicieron por triplicado tanto para el agar nativo como el alcalino.

La extracción del agar nativo consistió en colocar 25 g de alga seca y molida en 800 mL de agua destilada en un vaso de precipitados. Se calentó sobre una parrilla eléctrica con agitación constante hasta llegar a los 80 °C, a esa temperatura se ajustó el pH entre 6.2 y 6.3. Posteriormente se continuó con el calentamiento de la muestra hasta ebullición para realizar la extracción. Se dejó hervir durante 90 minutos. Después de este tiempo la solución se filtró al vacío sobre tierra de diatomeas. La solución de agar obtenida se vertió en un recipiente de plástico y se dejó gelificar a temperatura ambiente. Posteriormente se congeló durante 24 h y luego se descongeló a temperatura ambiente. En este paso el gel de agar se separó en gran parte del agua y se filtró sobre tela de nylon. El agar obtenido se deshidrató con etanol y se secó en una estufa a 60 °C durante 18 h. Por último, la muestra se pesó y se molió con un procesador de alimentos marca Braun.

Para el caso del agar alcalino, 25 g de alga seca se hidrataron con 500 mL de solución alcalina de NaOH al 7% durante 24 horas y posteriormente se calentaron 30 minutos a 85 °C. Luego del tratamiento se lavó en tres ocasiones con 500 mL de agua destilada por 5 minutos con agitación constante, y se realizó un lavado con 500 mL de una solución de H₂SO₄ al 0.025% con agitación durante 2 h. Posteriormente la extracción se continuó de la manera ya descrita para el agar nativo en este apartado.

Se evaluó el rendimiento como el porcentaje de agar obtenido a partir de una muestra de 25 g de alga seca. Los parámetros de calidad analizados fueron la fuerza de gel, la temperatura de fusión y la temperatura de gelificación.

6.3. Efecto del tratamiento alcalino sobre el rendimiento y calidad del agar

6.3.1. Efecto del tiempo de tratamiento alcalino del alga a nivel planta piloto sobre el rendimiento y calidad de agar

Las condiciones de operación fueron extrapoladas a partir de los datos publicados por Arvizu-Higuera *et al.* (2008).

Diez kilogramos de algas secas y molidas recolectadas en 2004 y 2005, se hidrataron durante una noche en un tanque con 200 L de solución de hidróxido de sodio al 7%. Posteriormente las algas se calentaron durante 40 minutos a 85°C en una marmita enchaquetada. Durante el proceso, se tomaron muestras de las algas antes de iniciar el calentamiento, al llegar a 85°C y posteriormente cada 10 minutos de tratamiento (6 muestras en total). Cada muestra que se recolectó de la marmita se filtró sobre una tela de nylon, el filtrado se descartó y a partir del residuo se tomaron 150 g (peso húmedo), se llevaron al laboratorio en donde se continuó el proceso de la siguiente manera: se lavaron en tres ocasiones con 800 mL de agua destilada durante 5 minutos con agitación constante y posteriormente se llevó a cabo un lavado con 500 mL de solución de H₂SO₄ al 0.025% durante 90 minutos para reducir la alcalinidad. Las muestras se filtraron nuevamente y se colocaron en 800 mL de agua destilada. La solución se calentó a 80°C y se ajustó el pH entre 6.2 y 6.3 adicionando H₃PO₄ al 10%. Se incrementó la temperatura hasta ebullición y se dejó en extracción durante 90 minutos. La solución obtenida se filtró sobre una cama de tierra de diatomeas con ayuda de una bomba de vacío. La solución de agar obtenida se vertió en un recipiente de plástico y se dejó gelificar a temperatura ambiente y se obtuvo el agar por el método ya descrito de congelado-descongelado, deshidratación con etanol, secado y molido.

El agar obtenido bajo diferentes condiciones, se disolvió en agua hirviendo a una concentración de 1.5%, se dejó gelificar por 24 h y se midieron la fuerza de gel, temperatura de fusión y temperatura de gelificación. Estos tres parámetros se

compararon entre los diferentes tiempos del tratamiento para así determinar el efecto del tiempo de tratamiento alcalino con NaOH sobre el rendimiento y propiedades físicas del agar.

6.3.2. Preparación de algas con valor agregado

6.3.2.1. Alga *Gracilaria* Alcalinizada (AGA) y su estabilidad en almacenamiento

Este procedimiento se hizo por duplicado con dos muestras de algas colectadas en distintos años (2004 y 2005) para determinar el efecto del tiempo de almacenamiento sobre la calidad y el rendimiento del agar del AGA obtenido. Para obtener este producto se siguió el proceso de tratamiento alcalino como se describió anteriormente. Al término de los 40 minutos, las algas se lavaron tres veces con 200 L de agua a temperatura ambiente dentro de la marmita, se tamizaron, se secaron al sol y se molieron. Estas algas químicamente modificadas se nombraron AGA que significa Alga *Gracilaria* Alcalinizada, de manera análoga a como se nombra comercialmente al PES (*Processed Eucheuma Seaweed*). Los AGA obtenidos se almacenaron en el Laboratorio de la Planta Piloto de CICIMAR en bolsas de plástico cerradas para evitar que entrara humedad.

A cada uno de los AGA obtenidos, se les realizó un seguimiento mensual en los primeros tres meses, posteriormente bimestral durante seis meses y una al final del año. En el laboratorio se evaluó el rendimiento y calidad de agar para determinar su estabilidad durante un año de almacenamiento posterior a su procesamiento. Las muestras se analizaron por triplicado con 16 g (peso seco) de cada AGA. El método de extracción del agar consistió primero de un lavado ácido con la solución de H_2SO_4 al 0.025%, posteriormente se puso en ebullición y se dejó en extracción durante 90 minutos. La solución obtenida se filtró sobre una cama de tierra de diatomeas con ayuda de una bomba de vacío. La solución de agar obtenida se vertió en un recipiente de plástico y se dejó gelificar a temperatura ambiente y se obtuvo el agar por el método ya descrito de congelado-descongelado, deshidratación con etanol, secado y molido. De igual manera se midió el rendimiento, la temperatura de fusión, temperatura de gelificación y la fuerza de gel. Se realizó una regresión lineal,

empleando el método de mínimos cuadrados, para los datos de las propiedades del gel para determinar la tendencia durante el año.

6.4. Pruebas de calidad (propiedades físicas del agar)

Se preparó una solución de agar al 1.5% disolviendo 1.95 g de agar en 130 mL de agua destilada para medir las propiedades físicas como la fuerza de gel, temperatura de fusión y gelificación.

Para medir la fuerza de gel se llenó un recipiente plástico de 3 × 9 × 2.5 cm con 86 mL de la solución de agar y se dejó gelificar a temperatura ambiente durante 24 h. Se utilizó el método de NikanSui utilizando un gelómetro de NikanSui modificado. El método consiste en ejercer presión sobre un área de 1 cm² del gel. Al momento de colocar una barra sobre el gel se contaron 20 segundos (s), si el gel resistía se retiraba la barra y se le agregaba más peso y se iniciaba nuevamente el conteo sobre un área no utilizada del gel. El gel debía resistir más de 12 s y romperse antes de los 20 s, para que el peso añadido más el peso de la barra fuera el valor a considerar como fuerza de gel expresado en g cm⁻² (Arvizu-Higuera *et al.*, 2008).

Para medir la temperatura de fusión y gelificación se utilizaron tubos de ensayo de 1.7 cm de diámetro por 15 cm de alto, a estos se vaciaron 22 mL de la solución de agar al 1.5% y se dejaron gelificar por 24 h. Una esfera de hierro de 7 mm de diámetro y con un peso de 2.04 g, se puso sobre la superficie del gel dentro del tubo. El tubo se sujetó con una abrazadera unida a un soporte universal y se introdujo en un baño María con agitación y la temperatura se aumentó gradualmente. La temperatura de fusión se registró con un termómetro de precisión (termocouple) cuando el gel comenzó a derretirse y la bala se hundió en la solución (Arvizu-Higuera *et al.*, 2008).

La temperatura de gelificación fue medida dejando enfriar los mismos tubos de ensayo moviéndolos constantemente de vertical a inclinado. Cuando el gel dejó de fluir con estos movimientos, entonces la varilla del termómetro se introdujo en el gel y se registró la temperatura (Arvizu-Higuera *et al.*, 2008).

6.5. Pruebas estadísticas

En los experimentos de efecto del tiempo de tratamiento alcalino y efecto del tiempo de almacenamiento la medición de las propiedades físicas y el rendimiento se midieron por triplicado.

Se realizaron los análisis de normalidad y homocedasticidad y a partir de los resultados obtenidos en estos se aplicó la prueba correspondiente, ANDEVA de 1 vía en caso de ser normales y homocedásticos y Kruskal-Wallis en el caso contrario.

7. RESULTADOS

7.1. Evaluación de los mantos de *G. vermiculophylla* en Laguna San Ignacio

7.1.1. Variación estacional de la extensión y biomasa total de los mantos de *G. vermiculophylla*

Durante el año de muestreo se observó una variación estacional significativa de los mantos de *G. vermiculophylla* dentro de la laguna. Se observó gran variación en la biomasa estacional de la biomasa (Fig. 4), esta gran variación también se observó en que los mantos aparecen y desaparecen de un mismo sitio en función de la estación del año (Fig. 6). Las coordenadas de ubicación de los mantos se pueden consultar en el anexo 4.

En otoño de 2007 (noviembre, 18 °C), se encontró un solo manto en toda la laguna, incluyendo el estero La Pitahaya (Fig. 6), con una extensión de 44,500m² y una biomasa considerable de 135 ± 34 t húmedas (Anexo 6). Este manto representa una zona inexplorada en la que nunca se habían reportados mantos de esta especie. Esto despertó grandes expectativas ya que sugería un incremento de biomasa para las estaciones posteriores.

En invierno de 2008 (febrero, 17.1 °C) la biomasa disminuyó considerablemente (12 ± 6.6 t húmedas), ya que solo se encontraron dos pequeños mantos (Fig. 4) en sitios diferentes. El manto encontrado en el muestreo anterior (otoño 2007) se encontró nuevamente en invierno en estado senescente y con una gran abundancia de invertebrados del género *Aplysia* (Foto 1) con longitudes de más de 30 cm, alimentándose de fragmentos de *Gracilaria* con una densidad aproximada de 1 organismo por metro cuadrado.



Foto 1. Ejemplar de *Aplysia* sp. capturada en los mantos de *G. vermiculophylla* en febrero de 2008.

En primavera (mayo, 20.5 °C) fue cuando se presentó la mayor abundancia de *Gracilaria* (1005 ± 424 t húmedas). Se localizaron 10 mantos de diversos tamaños y biomasa (Anexo 6). Algo importante fue la localización del manto 6, que era el manto

1 observado en otoño ubicado justo en la boca del estero La Pitahaya (Anexo 6). Este manto que en otoño tenía 44,500 m², casi conservó su misma área para primavera, llegando a 50,000 m² pero su biomasa se incrementó a 414 ± 209 t húmedas. Adicionalmente se encontró el manto 3 que fue muy importante, con más de 300 t húmedas y otros tres mantos con biomasa superiores a las 70 t (Anexo 6).

En verano (septiembre, 26.5 °C) se esperaba la mayor abundancia de *Gracilaria*, sin embargo, el manto de la boca del estero La Pitahaya se encontraba senescente como en invierno y solo se encontraron 228 ± 52 t húmedas. Aunque en esta ocasión no se observó *Aplysia*, en su lugar se encontró una gran cantidad de algas verdes, principalmente del género *Codium* y *Ulva*. Estas especies también se hallaron en todas las zonas de los mantos evaluados en primavera.

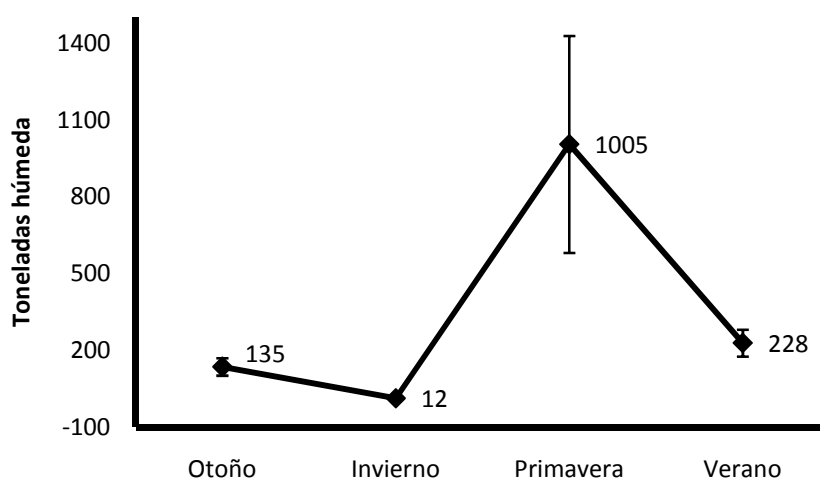


Figura 4. Variación estacional de la biomasa de *G. vermiculophylla* durante 2007-2008, en Laguna San Ignacio, Baja California Sur. Las barras verticales indican ± 1 DE.

La ausencia de mantos de *G. vermiculophylla* en la boca de la laguna, durante las cuatro estaciones muestreadas fue algo inesperado, ya que en un estudio anterior (Vergara-Rodarte, 2006), se reportó la presencia estacional de esta especie en esa zona. En su lugar se observaron pequeños parches aislados de pasto de la especie *Zostera marina* donde antes se encontraban mantos de *G. vermiculophylla*.

7.1.2. Medición de la temperatura

En la figura 5 se pueden observar los promedios de temperatura mensuales del año de muestreo y otros 5 años entre 1997 y 2005. La biomasa no tuvo relación directa con la temperatura ($R^2 = 0.03$). Lo que se observó es que la mayor abundancia se presentó en primavera (mayo, 20.5 °C), justo en el valor promedio de la temperatura media anual.

El 2008 presentado con línea continua presenta los promedios mensuales de temperatura tomados durante este estudio. La temperatura presentó valores similares a los resultados de otros años, por lo que se puede considerar como un año normal.

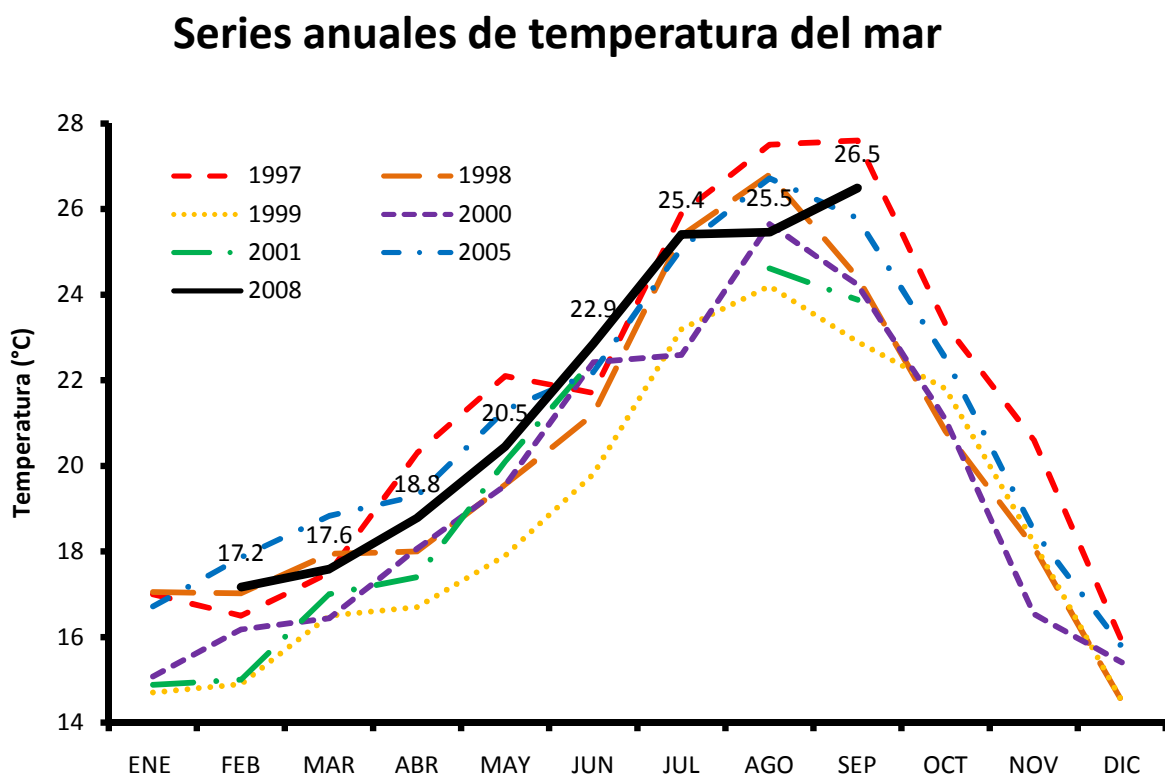


Figura 5. Variación mensual de la temperatura de fondo del mar (4 m) en Laguna San Ignacio, de 1997 a 2008.

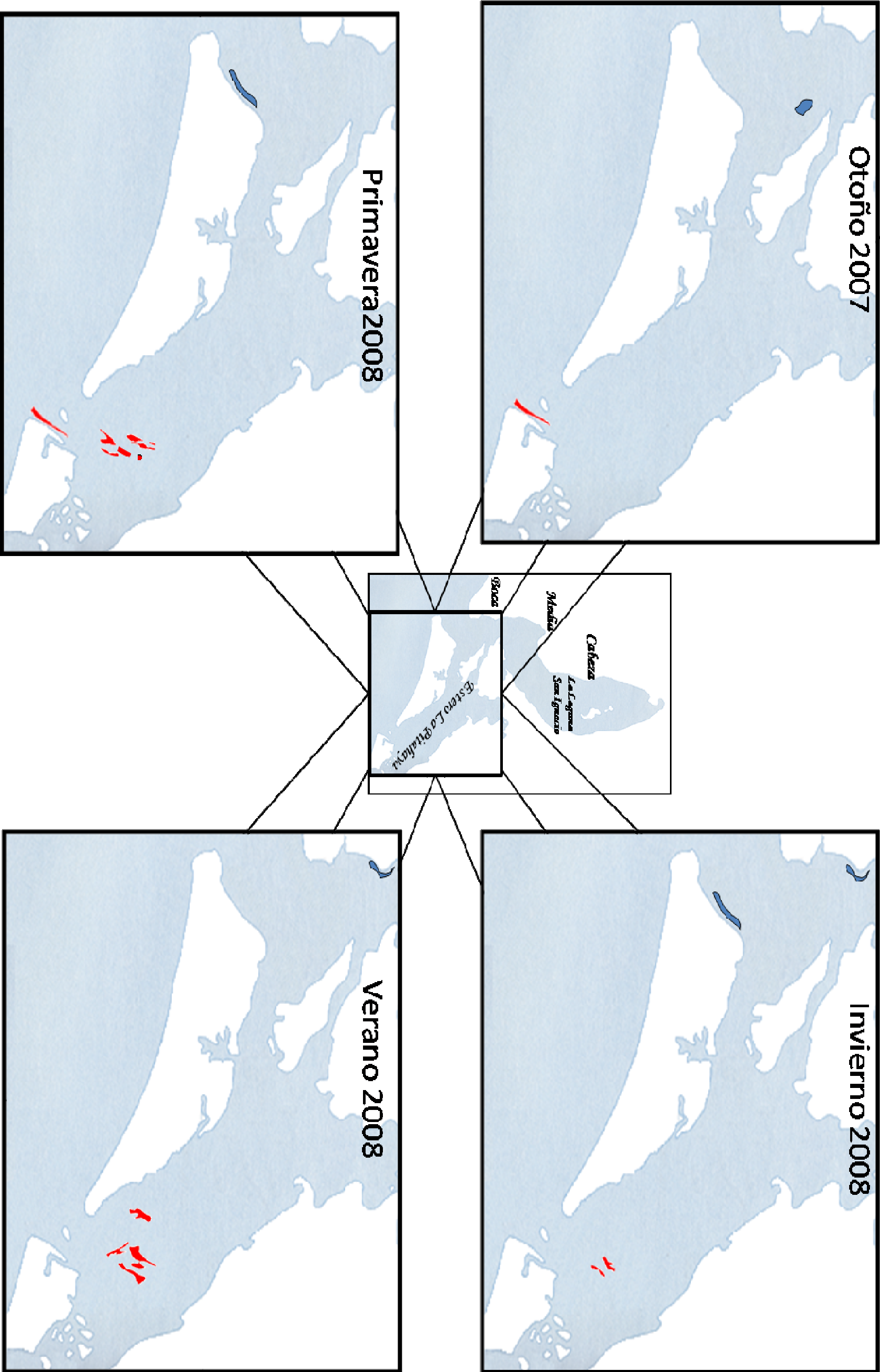


Figura 6. Localización de los mantos de *G. vermiculophylla* en Laguna San Ignacio. ■ 2007-2008, presente estudio; ■ 2005-2006, Vergara-Rodarte (2006).

7.1.3. Experimentos de cosecha

Después de instalar un grupo de estacas en un manto y medir la cosecha inicial, al volver tres meses después, ya no se encontraron las algas. Por lo que no se obtuvieron datos en este apartado. Estos resultados sugieren que existe un tiempo de vida del manto menor a tres meses, durante los cuales podrían realizarse al menos dos cosechas.

7.2. Variación estacional de la calidad y el rendimiento de agar nativo y alcalino

La variación estacional de agar nativo y alcalino se realizó con algas recién cosechadas (2007 y 2008) (Anexo 7). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el rendimiento, fuerza de gel, temperatura de fusión y temperatura de gelificación entre las estaciones.

El rendimiento de agar de las algas recolectadas en verano fue significativamente mayor que las de otras estaciones con un valor promedio de 29% para el agar nativo y 17% para el alcalino. También se encontró una disminución significativa ($p < 0.05$) del rendimiento del agar alcalino en comparación al agar nativo (Fig. 7).

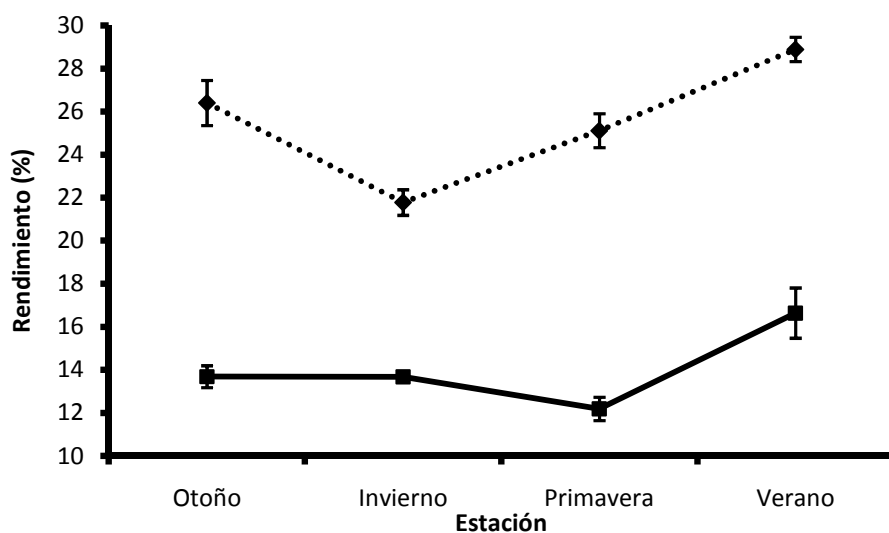


Figura 7. Variación estacional del rendimiento del agar nativo (♦) y alcalino (■) de *G. vermiculophylla* de Laguna San Ignacio.

La fuerza de gel del agar nativo fue significativamente diferente entre todas las estaciones ($p < 0.05$), se presentó un incremento gradual de otoño a verano, siendo en esta última el valor máximo de 170 g cm^{-2} . El agar alcalino tuvo una fuerza de gel promedio 9 veces mayor que la del agar nativo. La mayor fuerza de gel para el agar alcalino se obtuvo en primavera con 1132 g cm^{-2} (Fig. 8).

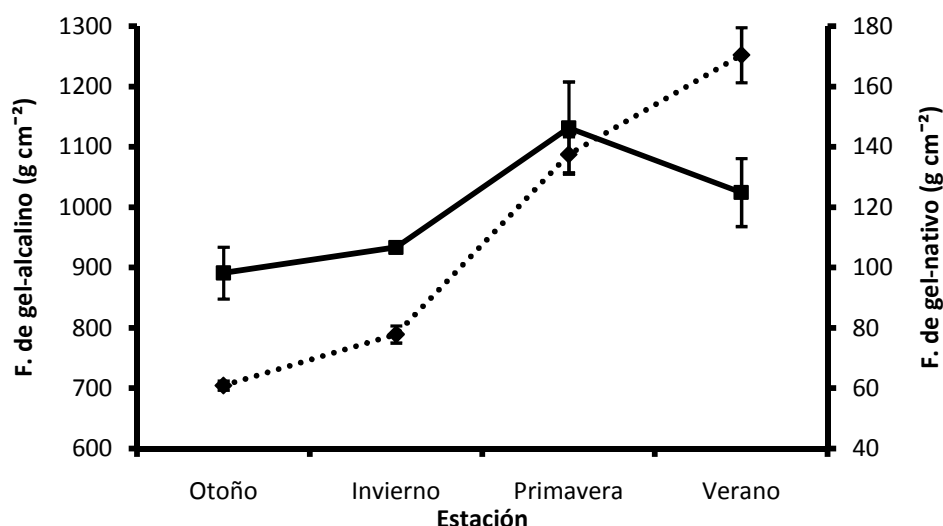


Figura 8. Variación estacional de la fuerza de gel del agar nativo (◆) y alcalino (■) de *G. vermiculophylla* de Laguna San Ignacio.

La temperatura de fusión (Fig. 9) del agar nativo presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las estaciones. Primavera y verano no fueron diferentes estadísticamente entre sí, pero sí lo fueron de otoño e invierno. Se observó un incremento gradual en el agar nativo de otoño a verano, similar al de la fuerza de gel, con la máxima temperatura de fusión en verano (75°C). La temperatura de fusión del agar alcalino fue significativamente superior a la del nativo con un incremento promedio de 32%. Mostró una disminución significativa ($p < 0.05$) en primavera y verano con respecto a invierno, esta última fue la estación con el promedio más alto (98°C), contrario a lo observado en el agar nativo donde verano fue el mes con la temperatura de fusión más alta.

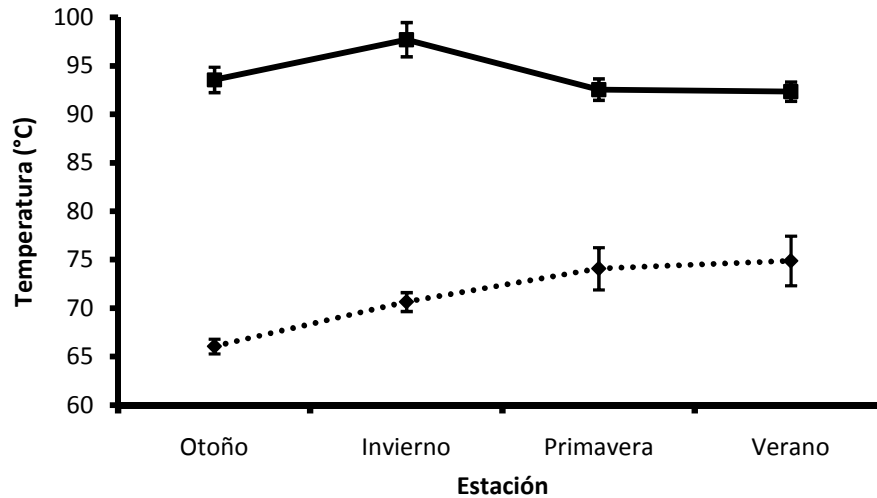


Figura 9. Variación estacional de la temperatura de fusión del agar nativo (···◆···) y alcalino (-■-) de *G. vermiculophylla* de Laguna San Ignacio.

La temperatura de gelificación (Fig. 10) del agar nativo mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las estaciones de otoño e invierno con las de primavera y verano, teniendo este último el valor más alto (30 °C). Mostrando consistencia con los resultados de la temperatura de fusión, ya que se observó de manera similar un incremento gradual de otoño a verano. En caso contrario, el agar alcalino mostró un decremento gradual de otoño a primavera y aumentó a un máximo en verano (68 °C). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre verano y las otras estaciones, invierno y primavera no tuvieron diferencias significativas entre sí, pero si tuvieron diferencia con otoño.

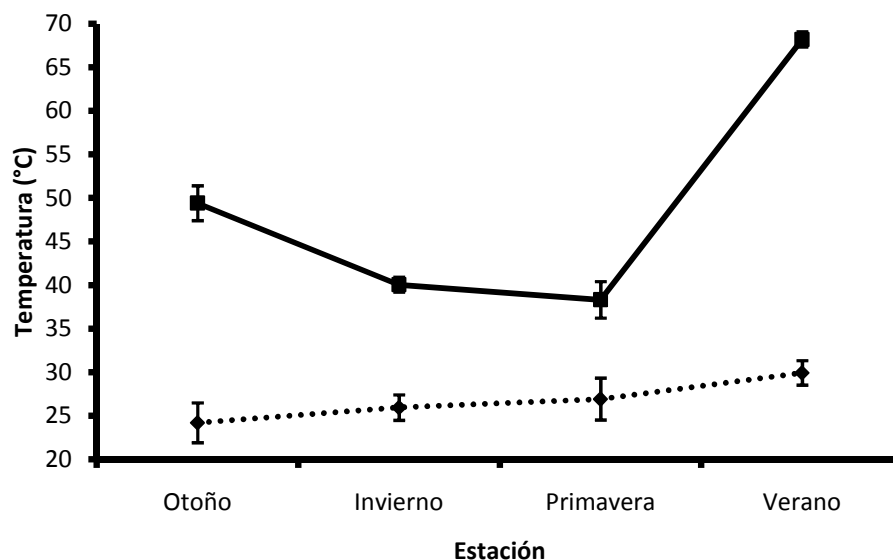


Figura 10. Variación estacional de la temperatura de gelificación del agar nativo (---♦---) y alcalino (-■-) de *G. vermiculophylla* de Laguna San Ignacio.

7.3. Efecto del tratamiento alcalino en la calidad del agar.

7.3.1. Efecto del tiempo de tratamiento alcalino del alga a nivel planta piloto sobre el rendimiento y propiedades físicas del agar de *G. vermiculophylla*.

El tiempo de tratamiento alcalino tuvo un efecto negativo sobre el rendimiento de agar ocasionando una reducción significativa (40%) para las algas de 2004 ($p < 0.05$, fig. 11), pero no hubo cambios significativos con las algas colectadas en 2005, que tenían un año menos de almacenamiento ($p > 0.05$, Fig. 11). El rendimiento de agar al inicio del tratamiento (tiempo 0) no fue significativamente diferente ($p > 0.05$) entre años, sin embargo, a partir de la segunda muestra (cuando la muestra alcanza los 85 °C (0') las diferencias fueron significativas ($p < 0.05$).

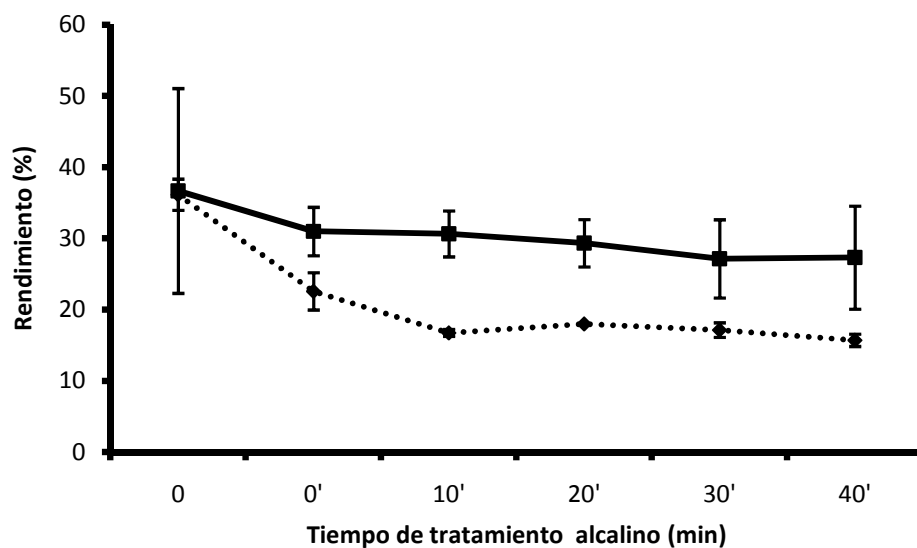


Figura 11. Rendimiento promedio de agar alcalino extraído a partir de algas almacenadas durante tres años (♦-algas 2004) y dos años (-■- algas 2005). Se presentan las medias y las barras representan ± 1 DE.

En el análisis de la fuerza de gel (Fig. 12) se hizo más evidente el cambio en la calidad del agar entre los dos periodos de almacenamiento. El agar de las algas con tres años de almacenamiento (2004) presentaron un incremento significativo de la fuerza de gel después del tratamiento alcalino ($p < 0.05$), mientras que en las algas de 2005 con dos años de almacenamiento la diferencia no fue significativa ($p > 0.05$), a pesar que tuvo un incremento de casi 100 g cm^{-2} .

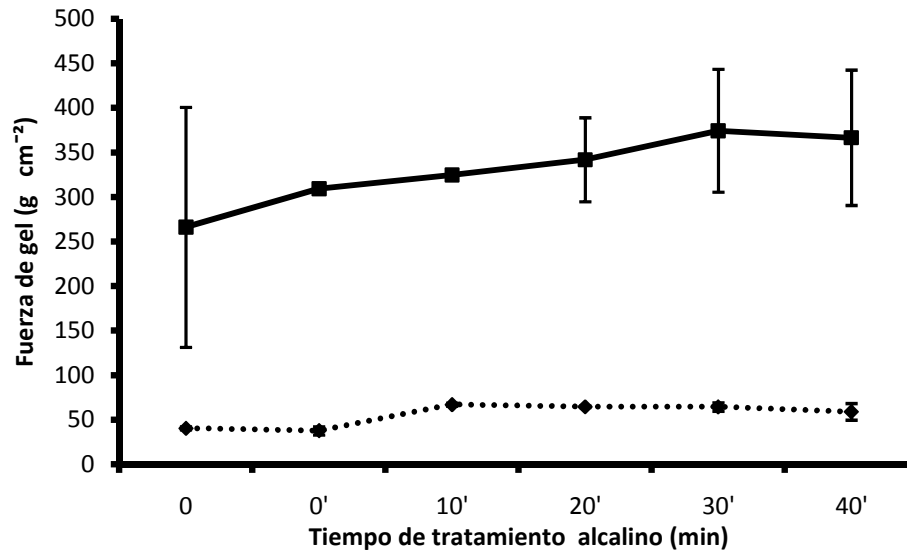


Figura 12. Fuerza de gel del agar de las algas de 2004 (-◆-) y 2005 (-■-), a diferentes tiempos de tratamiento alcalino.

La temperatura de fusión del agar obtenido a diferentes tiempos de tratamiento alcalino se incrementó significativamente para las algas de 2004 y 2005 ($p < 0.05$, Fig. 13). El efecto fue mayor en las algas de 2004, con un incremento de casi 30%, mientras que las de 2005 solo subieron 10%. Sin embargo, las algas de 2005 siempre presentaron una temperatura de fusión mayor que las de 2004. La temperatura de fusión de las algas recolectadas en 2004 al inicio del tratamiento fue significativamente más baja que las de 2005 (30%).

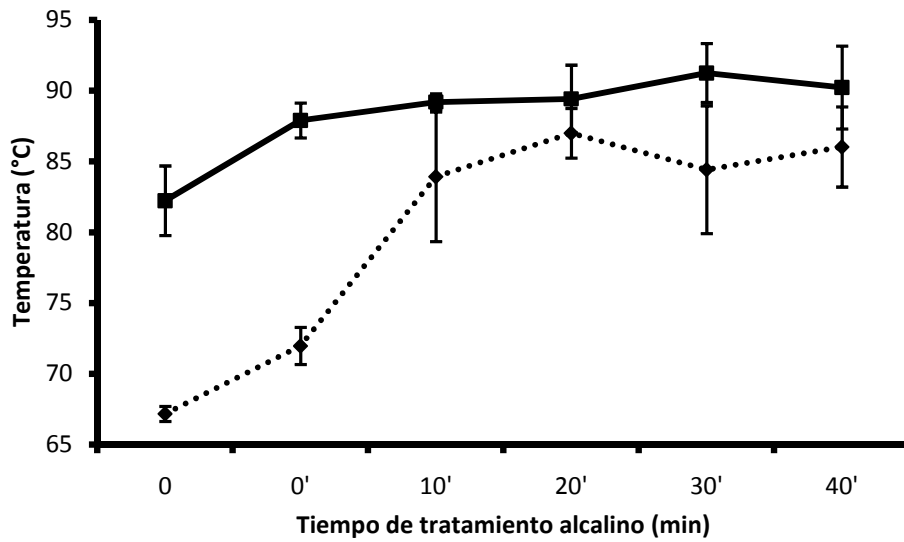


Figura 13. Temperatura de fusión del agar de las algas de 2004 (◆) y 2005 (■), a diferentes tiempos de tratamiento alcalino.

La temperatura de gelificación (Fig. 14) tuvo el mismo comportamiento que la temperatura de fusión. En los dos años de recolecta hubo un incremento significativo ($p < 0.05$). El agar de las algas de 2005 mantiene los valores más altos que las de 2004.

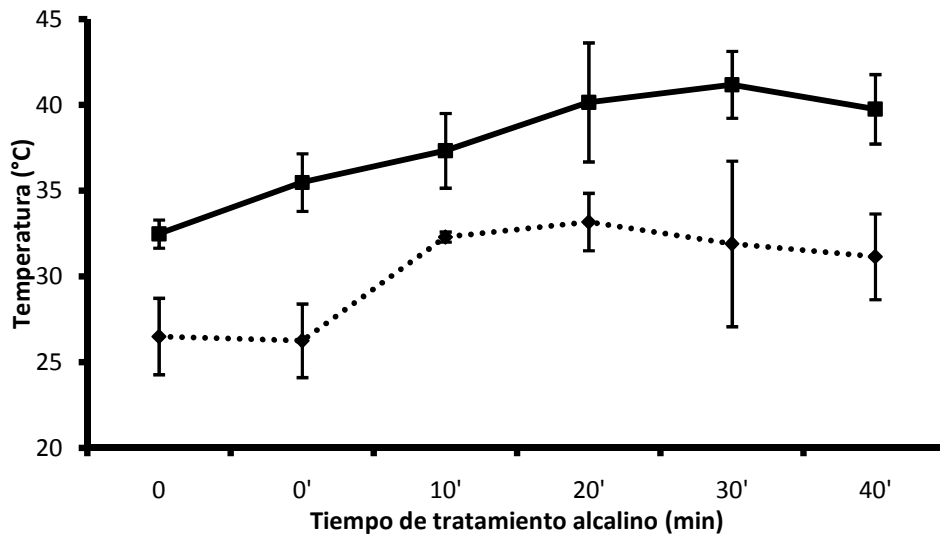


Figura 14. Temperatura de gelificación del agar de las algas de 2004 (◆) y 2005 (■), a diferentes tiempos de tratamiento alcalino.

7.3.2. Preparación de algas con valor agregado

7.3.2.1. Alga Gracilaria Alcalinizada (AGA) y su estabilidad durante un año de almacenamiento

El rendimiento del agar obtenido con las algas pretratadas (AGA) varió significativamente entre los meses, tanto para las algas con tres años de almacenamiento como para las de dos años, sin embargo, en ambos casos la pendiente resultó positiva pero no fue significativamente diferente de cero ($p > 0$). Esto significa que el rendimiento se mantuvo constante a lo largo del tiempo analizado (12 meses). El rendimiento de las de 2004 fue en promedio 47% menor que las de 2005 (Fig. 15).

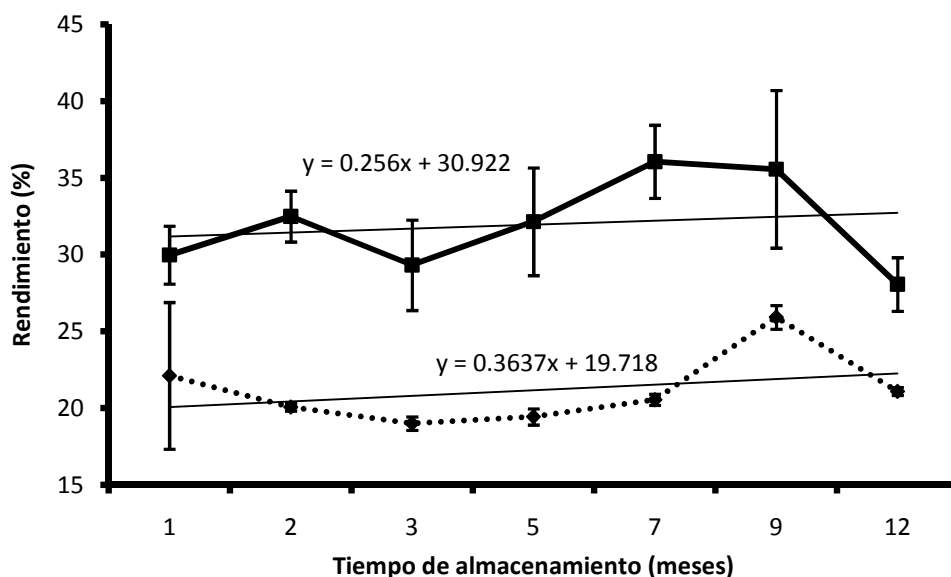


Figura 15. Rendimiento de agar (media y desviación estándar) de los AGA durante el año de estudio (♦- Algas 2004 y -■- Algas 2005).

La fuerza de gel para el caso del AGA procesado con las algas con tres años de almacenamiento, fue significativamente más baja que el AGA procesado con algas con dos años de almacenamiento (Fig. 16). Un aspecto interesante es que a pesar de su baja fuerza después de tres años de almacenamiento, mantiene su estabilidad, ya que la pendiente es ligeramente positiva (Fig. 16). La fuerza de gel del agar obtenido a partir del AGA con algas de dos años resultó un caso peculiar ya que después de un año hubo un incremento de alrededor de 50%, sin embargo esto

no fue significativamente diferente (debido a la gran variación que se presentaron en las mediciones), lo que indica que se mantiene estable durante todo el año.

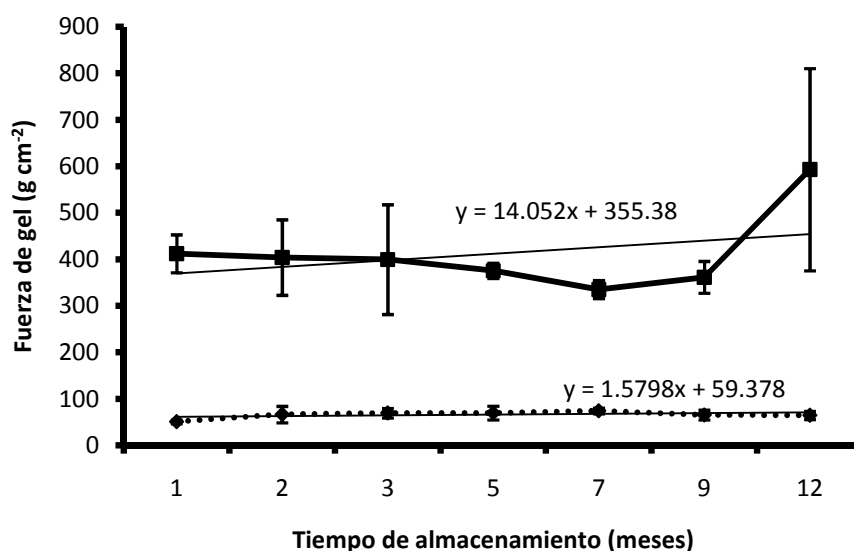


Figura 16. Fuerza de gel de los AGA durante el año de estudio (♦ Algas 2004 y ■ Algas 2005).

La temperatura de fusión presentó una ligera tendencia a disminuir para ambos AGA (Fig.17). Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los meses de almacenamiento ($p > 0.05$), además de que la tendencia no fue diferente de cero en ambos casos. Nuevamente se encontró que las algas con dos años de almacenamiento presentaron una mayor temperatura de fusión con una diferencia promedio de 5.4 °C (Anexo 5).

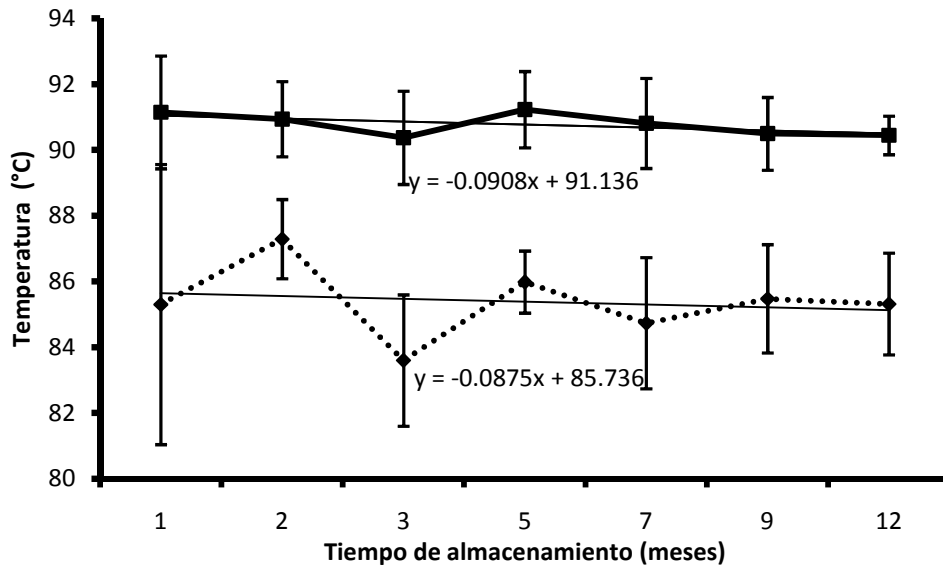


Figura 17. Temperatura de fusión de los AGA durante el año de estudio (♦ Algas 2004 y ■ Algas 2005).

La temperatura de gelificación mantuvo tendencia positiva en ambos casos (Fig. 18), pero no hubo diferencias significativas entre los meses ($p > 0.05$) además de que la pendiente no fue significativamente diferente de cero para los dos casos, por lo que se consideran constantes a lo largo del año.

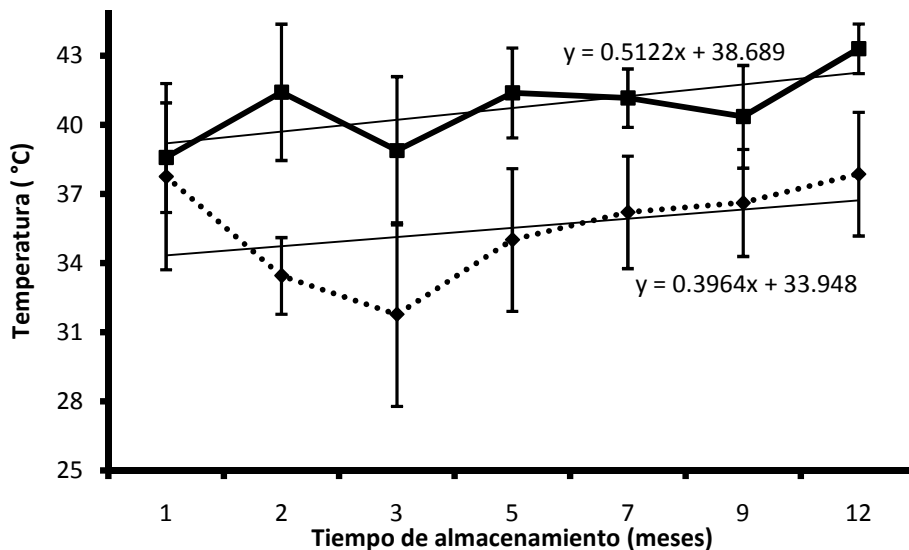


Figura 18. Temperatura de gelificación de los AGA durante el año de estudio (♦ algas 2004 y ■ algas 2005).

8. DISCUSIÓN

8.1. Evaluación de los mantos de *Gracilaria vermiculophylla* en Laguna San Ignacio

8.1.1. Variación estacional de la extensión y biomasa total de los mantos de *Gracilaria vermiculophylla*

Se encontró una gran variación de la biomasa de *G. vermiculophylla* durante el año de muestreo (2007-2008), así como la sucesión de los mantos en cada estación. Un comportamiento similar se observó en un trabajo anterior (Vergara-Rodarte, 2006) en donde los muestreos se realizaron principalmente en la zona de la boca donde se encontraron dos mantos de gran extensión. Sin embargo, para este nuevo estudio esos mantos no se encontraron en ninguna de las estaciones del año. La temperatura de 2005 no fue significativamente diferente a la de 2008 (Fig. 5). Contrario a lo observado en el presente estudio se han encontrado que existen diferencias estacionales (Lee *et al.*, 1999). Este resultado se contrapone al supuesto de que la temperatura es el principal regulador de la distribución algal (Stewart, 1984), ya que con temperaturas muy similares en diferentes años el patrón de distribución de *Gracilaria* cambió significativamente.

Estudios recientes proponen que esta especie está adaptada a las condiciones del intermareal dentro de las lagunas costeras, que corresponden a una temperatura relativamente baja combinada con altos niveles de luz (Phooprong *et al.*, 2007; Thomsen y McGlathery, 2007; Weinberger *et al.*, 2008).

Los resultados sugieren que la población de *Gracilaria* dentro de Laguna San Ignacio puede estar sujeta a un control biológico más que ambiental (temperatura, salinidad, nutrientes e irradiancia), principalmente debido a la alta adaptabilidad de esta especie a su ambiente, por lo que se le ha clasificado como especie invasiva (Thomsen *et al.*, 2005; Freshwater *et al.*, 2006; Phooprong *et al.*, 2007; Thomsen y McGlathery, 2007; Weinberger *et al.*, 2008).

Se han observado diferencias estacionales (Fig. 4) en el crecimiento y distribución en otras poblaciones de *Gracilaria* como *G. tenuistipitata* (Lee *et al.*, 1999), *G. cornea* (Dawes *et al.*, 1999), *G. pacifica* (Aguilar-Rosas *et al.* 2000), *G. coronopifolia* (Tsai *et al.*, 2005), *G. cervicornis* (Marinho-Soriano *et al.*, 2001).

Thomsen y McGlathery (2007) encontraron que *G. vermiculophylla* en Virginia, USA no es afectada por niveles bajos o altos de nutrientes o luz y Phooprong *et al.* (2007) demostraron que es altamente resistente a la irradiancia ya que su tasa fotosintética se incrementa rápidamente a partir de los 200 $\mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y puede incrementarse hasta los 710 $\mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sin llegar a la fotoinhibición. Tomando en cuenta que el rango de la irradiancia para Laguna San Ignacio está entre 250 y 700 $\mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Cabello Pasini *et al.*, 2003; Cabello-Pasini *et al.*, 2004), no se pensaría que la irradiancia es un factor limitante en este caso.

Otro factor a considerar es la salinidad, que en el caso de Laguna San Ignacio es una laguna hipersalina o antiestuario (Winant y Gutiérrez de Velasco, 2003; Gutiérrez de Velasco y Winant, 2004). De acuerdo con Mshigeni y Wevers (1979), las altas salinidades favorecen el crecimiento de *Gracilaria corticata*, teniendo su máxima tasa de crecimiento a las 42 ups. Mientras que en estudios con *G. vermiculophylla* en las costas danesas Thomsen *et al.* (2007), encontraron que puede crecer a salinidades de 8.5 a 34 ups y Weinberger *et al.* (2008) observaron que el crecimiento de *G. vermiculophylla* en el mar Báltico disminuye a una salinidad por debajo de los 5.5 ups.

Finalmente, la temperatura se ha destacado como el principal regulador del crecimiento algal. Sin embargo la temperatura en Laguna San Ignacio durante el 2008 varió entre 16 y 28 °C lo cual se encuentra dentro del intervalo de temperatura en la que esta especie puede lograr una tasa fotosintética suficiente (15 a 30 °C) ya que para llegar a una inhibición, sería necesario alcanzar los 35 °C (Phooprong *et al.*, 2007). Por lo que en este caso la temperatura no parece ser el principal regulador del crecimiento de *Gracilaria*.

Entonces, ¿que controla el crecimiento estacional de la población de *G. vermiculophylla* en Laguna San Ignacio? La mejor explicación a esto quizás sea la de un control biológico, ya que en ocasiones el crecimiento de poblaciones de *Gracilaria* puede ser afectado por la presencia de algas verdes oportunistas como *Ulva*, *Enteromorpha* y *Codium* (Iknur y Cirik, 2004). También se ha encontrado en poblaciones de *G. vermiculophylla* que el herbivorismo puede controlar su crecimiento, como es el caso del norte de Europa donde las litorinas ejercen este

efecto (Thomsen *et al.*, 2007). Ambos casos se encontraron durante el desarrollo de este trabajo.

En otoño de 2007 e invierno de 2008 se presentó el molusco gasterópodo *Aplysia* sp. conocida como liebre de mar. Primero en otoño con pequeños organismos de no más de 5 cm de longitud y posteriormente en invierno con organismos de 30 cm de longitud o más a una densidad de 1 por metro cuadrado, pero esta vez con las algas en estado senescente. Esto sugiere que la presencia de *Aplysia* puede estar relacionada con la ausencia o senescencia del manto y la disminución de la biomasa en primavera (Fig. 4). Aunque se ha reportado a *G. vermiculophylla* como parte de la dieta de la tortuga verde (López-Mendilaharsu *et al.*, 2005; 2008), análisis de isotopos radioactivos (Santos-Baca, 2008) nos sugieren que la tortuga come más pasto en las lagunas que otros recursos, por lo que el control por parte de la población de tortugas es poco probable.

8.1.2. Experimentos de cosecha

Los resultados del experimento sugieren que el tiempo de vida de estas algas en un manto puede ser menor a tres meses, por lo que para observar el proceso de regeneración se requiere de muestreos más frecuentes (quincenal o mensual), como lo hicieron Carter y Simons (1987) con *Gelidium pristoides*, quienes experimentaron diversos periodos de cosecha (40, 45, 60 y 90 días) para determinar la manera de obtener el mejor rendimiento de cosecha. Estos autores encontraron que existe una relación inversa entre el rendimiento de las cosechas y su periodicidad (mayores rendimiento se obtienen con periodos más cortos entre cosechas). La periodicidad de los mantos sugiere que estos se deben aprovechar en un periodo no mayor a tres meses, antes de que desaparezca. Lo anterior sugiere que es posible incrementar las biomásas estimadas con una programación de dos cosechas para cada manto en cada estación. Principalmente en primavera (1,000 t peso húmedo, Fig. 4), ya que durante este mes y los dos siguientes se han encontrado las tres mayores tasas de crecimiento para *G. vermiculophylla*, con 13.6% para junio y 11.7% por día para julio (Aguilar-Rosas *et al.*, 2000). Por lo tanto considerando un escenario ideal y suponiendo que se cosecharan 600 t en mayo,

bajo esa tasa de crecimiento, para finales de junio se tendrían 1,400 t, por lo que en esos tres meses se podrían obtener 2,000 t.

8.2. Variación estacional de la calidad y el rendimiento de agar nativo y alcalino de *G. vermiculophylla*

A pesar de la disminución significativa del rendimiento de agar en *G. vermiculophylla* observada en este estudio con el tratamiento alcalino (Fig. 7), se mantienen cerca de algunos valores encontrados en las algas de mayor importancia comercial a nivel mundial (Tabla 1). Por otra parte, la fuerza de gel obtenida en cada una de las estaciones de año (Fig. 8), fue superior a las reportadas en esas especies, por lo que *G. vermiculophylla* podría considerarse como una especie potencial para la extracción industrial de agar de grado alimenticio, ya que este es el uso principal que se le da al agar que se obtiene de las especies de *Gracilaria*.

Tabla 1. Rendimiento y fuerza de gel de las especies de *Gracilaria* más importantes a nivel mundial y de *G. vermiculophylla* analizada en varios estudios (modificado de Freile-Pelegrín, 2000)

Especie	Origen	Rendimiento (%)	Fuerza de Gel (g cm ⁻²)	Referencia
<i>G. asiática</i>	China	24.1	620	Lian, 1996
<i>G. chilensis</i>	Chile	43.4	360	Matsuhiro y Urzua, 1990
<i>G. edulis</i>	India	43.0	120	Kalimuthu y Ramalingan, 1996
<i>G. gracilis</i>	Sudáfrica	17.1	859	Rebello <i>et al.</i> , 1996
<i>G. heteroclada</i>	Filipinas	20.0	892	De la Peña, 1996
<i>G. lemaneiformis</i>	México	14.0	891	Pacheco-Ruiz <i>et al.</i> , 1999
<i>G. tenuistipitata</i>	China	29.7	551	Lian, 1996
<i>G. tenuistipitata</i>	Filipinas	16.2	726	De la Peña, 1996
<i>G. vermiculophylla</i>	México	10.2	177	Orduña-Rojas <i>et al.</i> , 2008b
<i>G. vermiculophylla</i>	Francia	17.8	195	Mollet <i>et al.</i> , 1998
<i>G. vermiculophylla</i>	México	15.3	1064	Arvizu-Higuera <i>et al.</i> , 2008
<i>G. vermiculophylla</i>	México	12.0	1132	Este estudio*

*Los valores pertenecen al agar alcalino, de primavera que fue cuando se presentó la mayor biomasa.

El rendimiento de agar puede ser muy importante como parámetro de selección de una especie a explotar, pero más importante aun es la calidad del agar que puede obtenerse mediante la modificación alcalina. El rendimiento obtenido fue de 22 a 29% para el agar nativo y 12 a 17% para el agar alcalino, fueron similares a los encontrados con otras poblaciones de *G. vermiculophylla* de diferentes regiones geográficas, 10.2% para poblaciones de Sinaloa, México (Orduña-Rojas *et al.*, 2008b) y 17.8% para Francia (Mollet *et al.*, 1998). Existe otro trabajo con la misma

población de Laguna San Ignacio (Arvizu-Higuera *et al.*, 2008) pero con material colectado en 2005, y no se observa diferencia en el rendimiento. Al compararse con otras especies (Tabla 2), se aprecian diferencias significativas tanto en agar nativo como alcalino. Esta variación ocurre comúnmente, ya que el contenido y calidad de agar varía con la especie, localidad, estación y el método de extracción (Hoyle, 1978).

El incremento de la fuerza de gel con tratamiento alcalino como el obtenido en este trabajo (Fig. 8), sugiere la presencia de un éster sulfato en el oxígeno del C-6 de la unidad de galactosa enlazada por el C-4 que se elimina con el tratamiento alcalino, tal como se demostró con *G. arcuata* (Montaño *et al.*, 1999), ya que los residuos de galactosa con una sustitución de sulfato en O-6 son los precursores de la 3,6-AG (Duckworth *et al.*, 1971). De esta manera, la concentración de 3,6-AG también se incrementó con la aplicación del tratamiento alcalino. Este alto contenido de 3,6-AG produce geles fuertes, mientras que los geles de baja fuerza son asociados a altas concentraciones de sulfatos y baja cantidad de 3,6-AG (Armisen, 1995).

La temperatura de gelificación por otra parte presentó valores altos en todas las estaciones del año muestreadas (Fig. 10) principalmente en verano (68 °C). Esto fue inusual, ya que el valor máximo reportado por Arvizu-Higuera *et al.* (2008) fue de 39.6 °C (primavera). Esto puede deberse a las diferentes estaciones en que fue recolectado el material, ya que el valor de primavera (Fig.10) fue de 38 °C similar al obtenido por Arvizu-Higuera *et al.* (2008). Lo mismo ocurre con la fuerza de gel y la temperatura de fusión, lo que sugiere que hay consistencia de la calidad del agar en esta población a través de los años.

La temperatura de gelificación ha sido asociada positivamente al grado de metoxilación presente en las unidades de galactosa (Guisseley, 1970), particularmente del C-6 de la L-galactosa, ya que una mayor metoxilación del C-6 corresponde a una mayor temperatura de gelificación. La metoxilación del resto de los carbonos reduce la temperatura de gelificación y la fuerza de gel al mismo tiempo (Armisen, 1999; Armisen y Galatas, 2000). Además se ha demostrado que la transformación de L-galactosa-6-sulfato a 3,6-anhidro-L-galactosa, va seguida de la

transferencia de grupos metilo al polisacárido (Duckworth y Yaphe, 1971) por lo que la aplicación del tratamiento alcalino explica el incremento en la temperatura de gelificación.

Resulta más complicado explicar la temperatura de fusión, ya que en este trabajo se obtuvieron altas temperaturas de fusión del agar con el tratamiento alcalino (Fig. 9), que pueden relacionarse con los altos pesos moleculares de los polímeros del agar, lo cual no obedece el hecho de que durante la extracción y principalmente el tratamiento alcalino degradan y despolimerizan de manera significativa el agar (Freile-Pelegrín y Robledo, 1997b, Armisen, 1999).

Otro aspecto evaluado en otras especies, es la influencia del estado del ciclo biológico en que se encuentra el alga, sobre la calidad y rendimiento del agar al momento de la cosecha. En *Gracilaria bursa-pastori*, se ha demostrado la diferencia que existe en la calidad pero no en el rendimiento. Las plantas reproductivas tuvieron la más baja calidad (plantas carpospóricas y tetraspóricas), como resultado de la gran cantidad de energía que destinan hacia la reproducción, por lo que se recomienda hacer las cosechas fuera de las temporadas reproductivas (Marinho-Soriano *et al.*, 1999). En las poblaciones de *G. vermiculophylla* en Laguna San Ignacio esto no sería un problema, ya que a pesar de que durante todo el año se encuentran plantas tetraspóricas, la mayor parte de la población se encuentran en estado vegetativo, por lo que la reproducción es principalmente vegetativa (Vergara-Rodarte, 2006).

En cuanto a la variación estacional del rendimiento y calidad se ha encontrado en diferentes especies que la estación afecta de manera significativa el rendimiento y la calidad del agar. En este estudio el rendimiento se comportó de manera similar a los reportados con otras especies, con valores máximos en primavera-verano y mínimos en otoño-invierno (Roleda *et al.*, 1997; Mollet *et al.*, 1998; Arellano-Carbajal *et al.*, 1999; Givernaud *et al.*, 1999; Marinho-Soriano *et al.*, 2001; Espinoza-Avalos *et al.*, 2003). Inclusive se ha demostrado que existe una correlación positiva entre la temperatura, salinidad e irradiancia y la producción de carbohidratos (Marinho-Soriano *et al.*, 2006) y particularmente con la producción de agar (Marinho-Soriano y Bourret, 2003), ya que estos tres parámetros tienen una gran influencia y un efecto

sinérgico en la producción de carbohidratos (Perfeto, 1998; Sousa-Pinto *et al.*, 1999; Perfeto *et al.*, 2004). Sin embargo, no todas las especies se comportan de esa manera, ya que las variaciones de la composición química pueden deberse a factores fisiológicos o el estado reproductivo de la población (Givernaud *et al.*, 1999; Marinho-Soriano y Bourret, 2005).

Se ha demostrado que la calidad es afectada por las condiciones ambientales predominantes de cada estación (Ondarza, 2007) y la presencia de eventos reproductivos (Givernaud *et al.*, 1999). En este estudio se observó un comportamiento análogo de la temperatura de fusión, gelificación y la fuerza de gel en el agar nativo. De manera similar se ha observado este comportamiento en *Gelidiella acerosa* (Roleda *et al.*, 1997) y *G. lemaneiformis* (Arellano-Carbajal *et al.*, 1999). Lo que sugiere que estas tres propiedades pueden estar relacionadas positivamente a la cantidad de 3,6-AG presente en el agar.

Se ha observado que la variación estacional de la fuerza de gel es particular para cada especie. Por ejemplo, en *G. gracilis* y *G. bursa-pastoris* se encontró que la mayor fuerza de gel fue en otoño-invierno y primavera-verano respectivamente para cada especie, aun cuando fueron colectadas del mismo sitio (Marinho-Soriano y Bourret, 2003). En nuestro caso, *G. vermiculophylla* incrementa su calidad y rendimiento de agar en las estaciones de primavera-verano y disminuye en otoño-invierno. En otro estudio Ondarza (2007), demostró que el mayor grado de sustitución de grupos metilo en *G. verrucosa* se obtiene en condiciones ambientales de primavera-verano y en menor grado en condiciones de invierno. Esto podría coincidir con el incremento observado de otoño a verano de las propiedades físicas del gel en el presente estudio. Sin embargo, también se han encontrado relaciones positivas entre la fuerza de gel y la temperatura de fusión y gelificación, similares a lo encontrado con *G. vermiculophylla* en este estudio (Roleda *et al.*, 1997; Marinho-Soriano y Bourret, 2003).

Tabla 2. Rendimiento y propiedades físicas del gel agar extraído de diversas especies de *Gracilaria*.

Especie	Origen	Rendimiento (%)	Fuerza de gel (g cm ⁻²)	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de gelificación (°C)	Tipo de extracción	Referencia
<i>G. cornea</i>	México	20	1,758	94	85	Alcalino	5
<i>G. crassissima</i>	México	13	1,390	93	50	Alcalino	6
<i>G. vermiculophylla</i>	México	12	1,132	93	38	Alcalino	***
<i>G. multipartita</i>	Marruecos	ND	890	ND	ND	Alcalino	3
<i>G. crassa</i>	India	16	800	ND	ND	Alcalino	11
<i>G. tenuistipitata</i>	Filipinas	33	606	86	42	Alcalino	4
<i>G. boldgettii</i>	México	22	550	85	45	Alcalino	6
<i>G. lemaneiformis</i>	México	12	540	95	35	Alcalino	2
<i>G. edulis</i>	India	16	490	ND	ND	Alcalino	11
<i>G. gracilis</i>	Sudáfrica	20	335	88	ND	Alcalino	7
<i>G. eucheumatoides</i>	Filipinas	22	323	81	37	Alcalino	12
<i>G. arcuata</i>	Filipinas	18	278	98	60	Alcalino	4
<i>G. gracilis</i>	Francia	15	225	ND	ND	Alcalino	1
<i>G. longissima</i>	Francia	14	150	ND	ND	Alcalino	1
<i>G. salicornia</i>	Tanzania	15	150	ND	ND	Alcalino	8
<i>G. foliifera</i>	India	15	135	ND	ND	Alcalino	11
<i>G. corticata</i>	India	11	110	ND	ND	Alcalino	11
<i>G. cervicornis</i>	México	25	50	56	34	Alcalino	6
<i>G. boldgettii</i>	México	36	750	87	41	Nativo	6
<i>G. gracilis</i>	Sudáfrica	42	700	ND	ND	Nativo	7
<i>G. dura</i>	Francia	35	600	ND	43	Nativo	10
<i>G. multipartita</i>	Marruecos	30	511	85	39	Nativo	3
<i>G. tenuistipitata</i>	Filipinas	16	304	86	42	Nativo	4
<i>G. crassa</i>	India	23	250	ND	ND	Nativo	11
<i>G. Salicornia</i>	Tanzania	30	250	ND	ND	Nativo	8
<i>G. crassissima</i>	México	30	200	83	42	Nativo	1
<i>G. bursa-pastori</i>	Francia	28	168	ND	40	Nativo	9
<i>G. arcuata</i>	Filipinas	17	161	96	63	Nativo	4
<i>G. vermiculophylla</i>	México	25	137	74	27	Nativo	***
<i>G. edulis</i>	India	25	100	ND	ND	Nativo	11
<i>G. foliifera</i>	India	22	100	ND	ND	Nativo	11
<i>G. corticata</i>	India	16	100	ND	ND	Nativo	11
<i>G. cervicornis</i>	México	39	50	66	36	Nativo	6

(1Mollet et al., 1998; 2Arellano-Carbajal et al., 1999; 3Givernaud et al., 1999; 4Montaño et al., 1999; 5Freile-Pelegrin y Robledo, 1997; 6Freile-Pelegrín y Murano, 2005; 7Wakibia et al., 2001; 8Buriyo y Kivaisi, 2003; 9Marinho-Soriano y Bourret, 2003; 10Marinho-Soriano y Bourret, 2005; 11Meena et al., 2007; 12Romero et al., 2008; ***datos del presente estudio correspondientes a primavera).

8.3. Efecto del tiempo de tratamiento alcalino sobre el rendimiento y calidad del agar

Los resultados obtenidos con el tratamiento alcalino a nivel de planta piloto mostraron diferencia significativa en el rendimiento y la calidad entre las algas con los dos periodos de almacenamiento (dos y tres años). En ambos casos se encontró que el rendimiento disminuyó significativamente en las algas con tres años de almacenamiento y en las de dos años no hubo disminución significativa en el rendimiento (Fig. 11). En cuanto a las propiedades físicas del agar: fuerza de gel (Fig. 12), temperatura de fusión (Fig. 13) y gelificación (Fig. 14), los incrementos no fueron significativos para la fuerza de gel pero si para la temperatura de fusión y gelificación. Sin embargo, aunque el incremento en la fuerza de gel no fue estadísticamente significativo, esto no quiere decir que no tenga importancia, ya que los 100 g que se incrementó pueden subir su valor económico.

Algo muy importante es que a los 40 min de tratamiento hubo una disminución en el rendimiento y en la fuerza de gel y temperatura de gelificación (que aunque no fue significativa), es más conveniente considerar que el mejor tiempo de tratamiento alcalino es 30 min. Arvizu-Higuera *et al.* (2008) experimentaron también el tiempo de tratamiento alcalino con *G. vermiculophylla*, solo que con intervalos de tiempo diferentes (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 h), obteniendo los mejores resultados a los 30 min. La disminución en el rendimiento de agar puede atribuirse a la posible degradación y pérdida de los polisacáridos en la solución alcalina y la eliminación del almidón florideano (Freile-Pelegrián y Robledo, 1997b; Meena *et al.*, 2008), por lo que un incremento en la concentración de NaOH o el tiempo de tratamiento puede reducir el rendimiento de agar.

El efecto de la concentración del NaOH se ha investigado en diversas especies: *Gracilariopsis tenuifrons* (Brito, 2000); *Gracilaria edulis*, *G. crassa*, *G. goliifera* y *G. corticata* (Meena *et al.*, 2008), *Gracilaria gracilis*, *G. chilensis*, *G. tenuistipitata*, *Gracilariopsis lemaneiformis* y *G. edulis* (Rebello *et al.*, 1997) y *G. cornea* (Freile-Pelegrián y Robledo, 1997b). En estas publicaciones los mejores resultados se obtuvieron con las concentraciones entre 5 y 8% de NaOH. También se demostró que existe un límite en la concentración de NaOH a partir del cual la calidad ya no se incrementa (fuerza de gel y el contenido de 3,6 anhidrogallactosa), el

cual es del 8%. A concentraciones de 10 y 15% se obtiene la misma calidad pero con una disminución del rendimiento de agar (Meena *et al.*, 2008).

Se ha observado que la concentración del NaOH en el tratamiento alcalino no tiene el mismo efecto en todas las especies, ya que por ejemplo en un mismo estudio la fuerza de gel de *Gracilaria cervicornis* no se incrementó con las diferentes concentraciones de NaOH (3, 5 y 7%), en *Gracilaria blodgettii* disminuyó, mientras que en *Gracilaria crassissima* se incrementó la fuerza de gel. Esto confirma la heterogeneidad de la calidad de agar de este género (Freile-Pelegrián y Murano, 2005).

Otro de los factores que intervienen durante el tratamiento alcalino es la temperatura, que en general parece no tener un efecto significativo (Freile-Pelegrián y Robledo, 1997b). Sin embargo en *G. vermiculophylla* la temperatura a la cual es afectado el rendimiento y calidad del agar es a 90 °C (Rodríguez-Montesinos, 2009 datos no publ.). En efecto, la calidad y el rendimiento final depende del efecto sinérgico de los tres parámetros que se aplican durante el tratamiento: concentración de NaOH, tiempo de tratamiento y temperatura.

8.4. Producción de algas con valor agregado (AGA) y su estabilidad en almacenamiento

El tema del almacenamiento del alga es crítico para la industria, ya que no es práctico procesar las algas a la misma tasa en que se cosechan. Las grandes industrias necesitan disponer de una gran cantidad de agarofitas almacenadas (Armisen y Galatas, 1987).

Lo principal después de la cosecha para la preservación de las algas, es su secado y empaquetamiento. Se aconseja que al secar las algas el contenido de humedad sea menos del 20% y es muy importante evitar que se humedezca durante el transporte y el almacenamiento, ya que la presencia de humedad dentro de los paquetes, puede provocar una fermentación anaeróbica que al generar altas temperaturas, puede inclusive carbonizar el alga (Armisen y Galatas, 1987; Armisen, 1995).

En los resultados obtenidos durante el almacenamiento del AGA, a excepción de la temperatura de fusión (Fig. 17), la calidad del agar se mostró estable durante el

año de almacenamiento, y en todos los casos los AGA producidos con las algas con dos años de almacenamiento mostraron valores significativamente mayores que los producidos con la de tres años.

En el rendimiento se observó una tendencia positiva. Esto puede deberse a la ruptura parcial de las paredes celulares durante el almacenamiento lo que facilita la extracción (Freile-Pelegrín, 2000). Lo anterior también se ha observado en *G. eucheumatoides* (Romero *et al.*, 2008) y *G. cornea* (Freile-Pelegrín, 2000), sin embargo, como se mostró en los resultados, la pendiente no fue significativamente diferente de cero. En el presente estudio se observó un incremento entre los 7 y 9 meses de almacenamiento en los dos AGA, de forma similar a como sucedió con *G. cornea* que fue a los 6 meses (Freile-Pelegrín, 2000). Lo anterior también se ha visto en *Gelidium sesquipedale*, donde al agar se extrae más fácilmente después de uno o dos años de almacenamiento, lo que incrementa su rendimiento sin disminuir la calidad. Esto se debe a que el agar de ese género es más resistente al almacenamiento y con menos de 20% de humedad puede almacenarse durante 10 años sin una disminución en su rendimiento (Armisen, 1995).

Sin embargo, el problema del almacenamiento de *Gracilaria* es más difícil de resolver, ya que existe la posibilidad de que ocurra una hidrólisis enzimática, inclusive con baja humedad en el alga, pero a tasas variables dependiendo de la especie y el lugar de origen. Por ejemplo en las especies de *Gracilaria* de aguas cálidas, el contenido de agar disminuye en unos pocos meses, inclusive en condiciones de humedad y almacenamiento ideales. Por el contrario, especies de aguas frías y templadas, tienen una mayor resistencia a la hidrólisis durante periodos más prolongados de almacenamiento como en el caso de *G. vermiculophylla* en Laguna San Ignacio. Sin embargo, la hidrólisis en estas algas puede ser detectada después de 6 a 8 meses de almacenamiento y llega a ser importante después de un año (Freile-Pelegrín, 2000; Armisen, 1995).

La hidrólisis del agar de *Gracilaria* puede deberse a dos factores: la presencia de bacterias agarolíticas, de las cuales la más importante es *Bacillus cereus* y la presencia de enzimas agarolíticas propias del alga (Armisen, 1995)

En trabajos con *G. eucheumatoides* y *G. cornea*, el alga se almacenó sin ningún tratamiento, únicamente a una humedad menor del 20% y de manera en que

no penetrara mayor humedad en los paquetes. Sin embargo, existe aun la posibilidad de una degradación enzimática autoinducida. Quizás esa fue la razón por la que se han encontrado disminuciones en la fuerza de gel de 17% y de 3,6-anhidrogalactosa de 12% en *G. cornea* (Freile-Pelegrín, 2000), y de 35% y 7% respectivamente durante el primer año de almacenamiento en *G. eucheumatoides* (Romero *et al.*, 2008). Al igual que en otro estudio donde se encontró que el tiempo de almacenamiento afecta negativamente el rendimiento y la calidad, debido probablemente a la despolimerización indicada por la disminución del peso molecular (Romero *et al.*, 2008).

Se han estudiado diversos métodos para evitar esta degradación enzimática. Uno de estos es el tratamiento alcalino, que provoca la destrucción microbiana y la desnaturalización de las enzimas agarolíticas (Armisen, 1995). En la década de los 60's también se experimentó la irradiación con rayos gama que actuaba como antibiótico, sin embargo, la fuerza de gel obtenida no tenía la calidad de agar alimenticio (Doshi *et al.*, 1968).

La razón por la cual la fuerza de gel se mantiene constante durante el primer año de almacenamiento puede deberse a que el alga fue tratada con el álcali desde al principio del almacenamiento, contrario a los trabajos de Freile-Pelegrín (2000) y Romero *et al.* (2008) donde el alga se almacenaba seca y se le aplicaba el tratamiento alcalino hasta su utilización.

Un dato peculiar es que la fuerza de gel del mes 12 del AGA de 2005 (Fig. 16), fue 50% mayor a los datos anteriores, ya que hasta el noveno mes la tendencia era negativa, y con el dato del doceavo mes la pendiente se volvió positiva. Sin embargo al no haber una variación significativa, indica que esta variación puede no ser producto del factor estudiado (tiempo), sino a ligeras variaciones involuntarias al aplicar el método.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. No es posible obtener una cosecha mayor a 200 t peso seco con una cosecha estacional de los mantos de *G. vermiculophylla* identificados en la zona de estudio. Sin embargo, existe la posibilidad de maximizar el rendimiento con un adecuado régimen de cosechas (dos por estación). Para poder demostrarlo, será necesario realizar otro experimento, aumentando la frecuencia de la cosecha. Otra posibilidad es explorar la viabilidad de cultivar a *G. vermiculophylla* en Laguna San Ignacio, en zonas con las condiciones adecuadas donde actualmente no se desarrolla la especie, como las áreas de la boca de la laguna, pero que en otros años crecía abundantemente (Vergara-Rodarte, 2006).
2. No se encontró una relación directa entre la temperatura y la variación de la biomasa de *G. vermiculophylla* en Laguna San Ignacio.
3. El mejor tiempo de tratamiento alcalino a nivel Planta Piloto para *G. vermiculophylla* son 30 min con una concentración de NaOH al 7% y 85 °C. Posterior a los 30 minutos las propiedades físicas del agar comienzan a disminuir.
4. La diferencia en la calidad y el rendimiento entre los AGA con dos y tres años no se relaciona con la estacionalidad, ya que ambas algas fueron colectadas en la misma estación del año. Tomando en conjunto los resultados del tiempo de tratamiento alcalino y el tiempo de almacenamiento, se concluye que no es recomendable almacenar las algas más de dos años, ya que después de este tiempo la calidad no se mantiene aún después del tratamiento alcalino; por el contrario se observó una disminución en el rendimiento con algas almacenadas durante 3 años y esto provoca una disminución en la rentabilidad del proceso.
5. La calidad y el rendimiento del AGA no disminuye durante el año de almacenamiento. Por lo que el tratamiento alcalino en *G. vermiculophylla* parece detener la hidrólisis enzimática durante su almacenaje.
6. Tomando en cuenta la fuerza de gel de *G. vermiculophylla* (891 a 1132 g cm⁻²), se concluye que es un alga con un gran potencial para la industria alimenticia. Además de que su rendimiento se encuentra dentro de los valores de otras agarofitas explotadas comercialmente.

7. La calidad y el rendimiento de *G. vermiculophylla* es mayor en primavera-verano que en otoño-invierno. La temperatura de fusión, gelificación y la fuerza de gel tienen el mismo comportamiento estacional.

Conclusión general. *G. vermiculophylla* es un alga con gran potencial para su explotación, ya que su máxima abundancia y calidad coinciden en la misma estación (primavera). A pesar de que el rendimiento estimado de biomasa no superó las 200 t secas anuales, en primavera se estimaron 100 t secas, lo que puede ser una opción de trabajo temporal para los pescadores locales. También podría explorarse la posibilidad de desarrollar la tecnología para dar un tratamiento al alga y realizar su venta como AGA con un mayor valor agregado, ya que como se demostró, la calidad se incrementa significativamente y además es estable al menos durante el primer año de almacenamiento, lo que resulta atractivo para la industria.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Rosas, R. 1982. Identificación y distribución de las algas marinas del Estero Punta Banda, Baja California, México. *Cienc. Mar.* 8(1): 78-87.
- Aguilar-Rosas, R., M. E. Cruz-Campas & A. Trujillo-Ortiz. 2000. Crecimiento de *Gracilaria pacifica* Abbott (Rhodophyta), en el Estero de Punta Banda, Baja California, México. *Hidrobiológica*. 10(1): 74-79
- Aguilar-Rosas, R., R. Marcos-Ramírez, J. M. Lobo-Niembro & J. A. Zertuche-González. 1993. Variación estacional de fases reproductoras y vegetativa de *Gracilaria pacifica* Abbott, en el Estero de Punta Banda, Baja California, México. *Cienc. Mar.* 19(2): 219-228.
- Andriamanantoanina, H., G. Chambat & M. Rianudo. 2007. Fractionation of extracted Madagascan *Gracilaria corticata* polysaccharides: structure and properties. *Carbohydr. Polym.* 68: 77-88.
- Arellano-Carbajal, F., I. Pacheco-Ruiz & F. Correa-Díaz. 1999. Seasonal variation in agar yield and quality of *Gracilariopsis lemaneiformis* (Bory) Dawson, Acleto et Foldvik, from the Gulf of California, México. *Cienc. Mar.* 25(1): 51-56.
- Armisen, R. 1995. World-wide use and importance of *Gracilaria*. *J. Appl. Phycol.* 7: 231-243.
- Armisen, R. 1999. Agar, 1-21. En: Imeson A. (Ed.) Thickening and gelling agents for food. 2a ed. Blackie Academic & Professional. England. 312 p.
- Armisen, R. & F. Galatas. 1987. Production, properties and uses of agar, 1 - 44. En: McHugh D. J. (Ed.) Production and utilization of products from commercial seaweeds. *FAO Fish. Tech. Paper.* 288. 194 p.
- Armisen, R. & F. Galatas. 2000. Agar, 21-40. En: Phillips G. O. y P. A. Williams. Handbook of Hydrocolloids. Woodhead Publishing. England. 399p.
- Arvizu-Higuera, D. L., & E. Rodríguez-Montesinos, J. I. Murillo-Álvarez, M. Muñoz-Ochoa y G. Hernández-Carmona. 2008. Effect of alkali treatment time and extraction time on agar from *Gracilaria vermiculophylla*. *J. Appl. Phycol.* 20: 515-519.
- Bellorín, A. M., M. C. Oliveira & E. C. Oliveira. 2004. *Gracilaria vermiculophylla*: A western pacific Species of Gracilariaceae (Rhodophyta) first recorder from the eastern pacific. *Phycol. Res.* 52: 69-79.

- Bold, H. C. & M. J. Wynne. 1985. *Introduction to the algae: Structure and reproduction*. Prentice Hall. 718 pp.
- Brito, L. 2000. Influencia del tratamiento alcalino sobre el agar de *Gracilariopsis tenuifrons* (Gracilariales: Rhodophyta). *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*. 39 (1&2): 67–70.
- Brock, J. & M. Shintaku. 1996. *Gracilaria* Gall Syndrome. *Cent. Trop. Subt. Aqua*. Publication Number 124. 2p.
- Buriyo, A. S. & A. K. Kivaisi. 2003. Standing stock, agar yield and properties of *Gracilaria salicornia* harvested along the Tanzanian coast. *Western Indian Ocean J. Mar. Sci.* 2(2): 171-178.
- Byrne, K., G. C. Zuccarello, J. West, M-L Liao & G. T. Kraft. 2002. *Gracilaria* species (Gracilariaceae, Rhodophyta) from southeastern Australia, including a new species, *Gracilaria perplexa* sp. Nov.: Morphology, molecular relationships and agar content. *Phycol. Res.* 50: 295-311.
- Cabello-Pasini, A., R. Muñiz Salazar & D. H. Ward. 2003. Annual variations of biomass and photosynthesis in *Zostera marina* at its southern end of distribution in the North Pacific. *Aquat. Bot.* 76: 31-47.
- Cabello-Pasini, A., R. Muñiz Salazar & D. H. Ward. 2004. Biochemical characterization of the eelgrass *Zostera marina* at its southern distribution limit in the North Pacific. *Cienc. Mar.* 30: 21-34.
- Carter, A. R. & R. H. Simons. 1987. Regrowth and production capacity of *Gelidium pristoides* (Gelidiales, Rhodophyta) under various harvesting regimes at Port Alfred, South Africa. *Bot. Mar.* 30: 227-231.
- Casas-Valdez, M., D. Lluch-Belda, S. Ortega-García, S. Hernández-Vazquez, E. Serviere-Zaragosa & D. Lora-Sánchez. 2005. Estimation of maximum sustainable yield of *Gelidium robustum* seaweed fishery in México. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 85: 775-778.
- Castellanos-González, M. E., A. R. León-Pérez & A. Moreira-González. 2003. Caracterización química de la agarofita *Gracilaria blodgettii* Harvey en la Bahía de Cienfuegos, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 23 (3): 185-192.
- Dawes, C. J. 1986. *Botánica marina*. Limusa. México. 673 p.

- Dawes, C. J., J. Orduña-Rojas & D. Robledo. 1999. Response of the tropical red seaweed *Gracilaria cornea* to temperature, salinity and irradiance. *J. Appl. Phycol.* 10: 419-425.
- Doshi, Y. A., S. T. Talreja & P. S. Rao. 1968. Production of high quality agar by gamma irradiation of seaweeds. *Indian J. Technol.* 6: 275.
- Duckworth, M. & W. Yaphe. 1971. The structure of agar. Part 1. Fractionation of a complex mixture of polysaccharides. *Carbohydr. Res.* 16: 359-366.
- Duckworth, M., K. C. Hong & W. Yaphe. 1971. The agar polysaccharides of *Gracilaria* species. *Carbohydr. Res.* 18: 1-9.
- Espinoza-Avalos, J., E. Hernández-Garibay, & A. Zeruche-González y M. E. Meave del Castillo. 2003. Agar de dos especies coexistentes de *Gracilaria* (Gracilariaceae) del Caribe mexicano. *Cienc. Mar.* 29, 002: 211-227.
- Fredericq, S. & M. H. Hommersand. 1990. Diagnoses and key to the genera of the Gracilariaceae (Gracilariales, Rhodophyta). *Hydrobiologia.* 204/205: 173-178.
- Freile-Pelegrín, Y. 2000. Does storage time influence yield and agar properties in the tropical agarophyte *Gracilaria cornea*?. *J. Appl. Phycol.* 12: 153-158.
- Freile-Pelegrín, Y. & D. Robledo. 1997a. Effects of season on the agar content and chemical characteristics of *Gracilaria cornea* from Yucatan, México. *Bot. Mar.* Vol. 40: 285-290.
- Freile-Pelegrín, Y. & D. Robledo. 1997b. Influence of alkali treatment on agar from *Gracilaria cornea* from Yucatán, México. *J. Appl. Phycol.* 9: 533-539.
- Freile-Pelegrín, Y., D. Robledo & E. Serviere-Zaragoza. 1999. *Gelidium robustum* agar: quality characteristics from exploited beds and seasonality from an unexploited bed at southern Baja California, México. *Hydrobiologia.* 398/399: 501-507.
- Freile-Pelegrín, Y., D. Robledo, M. Pedersén, E. Bruno & J. Rönqvist. 2002. Efecto del tratamiento de oscuridad y salinidad en el rendimiento de calidad del agar de *Gracilaria cornea* (Rhodophyceae). *Cienc. Mar.* 28, 003: 289-296.
- Freile-Pelegrín, Y. & E. Murano. 2005. Agars from three species of *Gracilaria* (Rhodophyta) from Yucatan Peninsula. *Bioresour. Technol.* 96: 295-302.
- Freshwater, D. W., F. Montgomery, J. K. Greene, R. M. Hamner, M. Williams & P. E. Whitfield. 2006. Distribution and identification of an invasive *Gracilaria* species

- that is hampering commercial fishing operations in southeastern North Carolina, USA. *Biol. Invasions*. 8: 631-637.
- Givernaud, T., A. El Gourji, A. Mouradi-Givernaud, Y. Lemoine & N. Chiadmi. 1999. Seasonal variations of growth and agar composition of *Gracilaria multipartita* harvested along the Atlantic coast of Morocco. *Hydrobiologia*. 398/399: 167-172.
- Glenn, E. P., D. Moore, M. Akutagawa, A. Himler, T. Walsh & S. G. Nelson. 1999. Correlation between *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) biomass production and water quality factor on a tropical reef in Hawaii. *Aquaculture*. 178: 323-331.
- Gómez, I. F. L. Figueroa, P. Huovinen, N. Ulloa & V. Morales. 2005. Photosynthesis of the red alga *Gracilaria chilensis* under natural solar radiation in an estuary in southern Chile. *Aquaculture*. 244: 369-382.
- Guisseley, K. B. 1970. The relationship between methoxyl content and gelling temperature of agarose. *Carbohydr. Res.* 13: 247-256.
- Gutiérrez de Velasco, G. & C. D. Winant. 2004. Wind- and density-driven circulation in a well-mixed inverse estuary. *Ame. Meteor. Soc.* May: 1103-1116.
- Guzmán-Urióstegui, A. & D. Robledo. 1999. Factors affecting sporulation of *Gracilaria cornea* (Gracilariales, Rhodophyta) carposporophytes from Yucatan, México. *Hydrobiologia*. 398/399: 285-290.
- Harper, J. T., & G. W. Saunders. 2001. Molecular systematic of the Florideophyceae (Rhodophyta) using nuclear large and small subunit rDNA sequence data. *J. Appl. Phycol.* 37: 223-224.
- Hernández-González, M., A. H. Buschmann, M. Cifuentes, J. A. Correa & R. Westermeier. 2007. Vegetative propagation of the carrageenophytic red alga *Gigartina skottsbergii* Setchell et Gardner: Indoor and field experiments. *Aquaculture*. 262: 120-128.
- Hoyle, M. D. 1978. Agar studies in two *Gracilaria* species (*G. bursa-pastori* (Gmelin) Silva and *G. coronopifolia* J. Ag.) from Hawaii. II. Seasonal aspects. *Bot. Mar.* 21, 347-352.
- Ikur, A. & S. Cirik. 2004. Distribution of *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss (Rhodophyta) in Izmir Bay (eastern Aegean sea). *Pak. Jour. Biol. Scie.* 7(11): 2022-2023.

- Khotimchenko, S. V. 2005. Lipids from the marine alga *Gracilaria verrucosa*. *Chem. Nat. Comp.* 41 (3): 285-288.
- Lee, Tse-Min, Yua-Chun Chang, & Yaw-Huei Lin. 1999. Differences in physiological responses between winter and summer *Gracilaria tenuistipitata* (Gigartinales, Rhodophyta) to varying temperature. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 49: 93-100.
- Lehninger, A. L. 1980. *Bioquímica: las bases moleculares de la estructura y función celular*. Omega. España. 1117 p.
- López-Mendilaharsu, M., S.C. Gardner, R. Riosmena-Rodríguez & J. Seminoff. 2005. Identifying critical foraging habitats of the GreenTurtle (*Chelonia mydas*) along the Pacific Coast of the Baja California Peninsula, México. *Aqua.t conserv.* 15: 259-269.
- López-Mendilaharsu, M., S. C. Gardner, R. Riosmena-Rodríguez & J. Seminoff. 2008. Diet selection by immature green turtles (*Chelonia mydas*) at a coastal foraging ground along the Pacific Coast of the Baja California Peninsula, México. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 88: 641-647.
- Marinho-Soriano, E., E. Bourret, M. L. de Casabianca & L. Maury. 1999. Agar from the reproductive and vegetative stages of *Gracilaria bursa-pastori*. *Biosour. Technol.* 67: 1-5.
- Marinho-Soriano, E., T. S. F. Silva & W. S.C. Moreira. 2001. Seasonal variation in the biomass and agar yield from *Gracilaria cervicornis* and *Hydropuntia cornea* from Brazil. *Biosour. Technol.* 77:115-120.
- Marinho-Soriano, E. & E. Bourret. 2003. Effects of season on the yield and quality of agar from *Gracilaria* species (Gracilariaceae, Rhodophyta). *Biosour. Technol.* 90: 329-333.
- Marinho-Soriano, E. & Bourret E. 2005. Polysaccharides from the red seaweed *Gracilaria dura* (Gracilariales, Rhodophyta). *Bioresour. Technol.* 96: 379–382.
- Marinho-Soriano, E., P. C. Fonseca, M. A. A. Carneiro & W. S. C. Moreira. 2006. Seasonal variation in the chemical composition of tow tropical seaweeds. *Biosour. Technol.* 97: 2402-2406.
- McHugh, D. J. 2002. Perspectivas para la producción de algas marinas en los países en desarrollo. FAO Circular de pesca No. 968. 30 p.

- McHugh, D. J. 2003. A guide to the seaweed industry. FAO Fisheries technical paper 441. 118 p.
- Meena, R., K. Prasad, M. Ganesan & A. K Siddhanta. 2008. Superior quality agar from *Gracilaria* species (Gracilariales, Rhodophyta) collected from the Gulf of Mannar, India. *J. Appl. Phycol.* 20: 397-402.
- Miller, C. B. 2004. *Biological Oceanography*. Blackwell Publishing. USA. 402 p.
- Mollet, J-C., A. Rahaoui & Y. Lemoine. 1998. Yield, chemical composition and gel strength of agarocolloids of *Gracilaria gracilis*, *Gracilaria longissima* and the newly reported *Gracilaria* cf. *vermiculophylla* from Roscoff (Brittany, France). *J. Appl. Phycol.* 10: 59-66.
- Montaño, N. E., R. D. Villanueva & J. B. Romero. 1999. Chemical characteristics and gelling properties of agar from tow Philippine *Gracilaria* spp. (Gracilariales, Rhodophyta). *J. Appl. Phycol.* 11: 27-34.
- Mouradi-Givernaud, A., L. A. Hasani, T. Givernaud, Y. Lemoine & O. Benharbet. 1999. Biology and agar composition of *Gelidium sesquipedale* harvested along the Atlantic coast of Morocco. *Hydrobiologia*. 398/399: 391-395.
- Mshigeni, K. E. & I. M. Weavers. 1979. Effect of the environment of the early stages of development in *Gracilaria corticata* J. Agardh (Rhodophyta, Gigartinales). *Nova Hedwigia*. 31: 1-3.
- Núñez-López, R. & M. Casas-Valdez. 2000. Distribution and Seasonality of Seaweeds in San Ignacio Lagoon, Baja California Sur, México. 303-322 En: Munawar M., S. G. Lawrence y D. F. Malley (Eds). 2000. *Aquatic Ecosystem of México*. Backhuys Publisher. Holanda. 451p.
- Ohmi, H. 1956. On a new species of the genus *Gracilariopsis* with some considerations on its ecology. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido University*. 6: 271-9.
- Ondarza, M. A. 2007. Substituciones en la unidad D-Galactosa de polímeros del agar: implicaciones metabólicas. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 42(2): 201-204.
- Orduña-Rojas, J., K. Y. García-Camacho, P. Orozco-Meyer, R. Riosmena-Rodríguez, I. Pacheco-Ruiz, J. Zertuche-González & A. E. Meling-López. 2008a. Agar properties of tow species of Gracilariaceae from the Gulf of California, México. *J. Appl. Phycol.* 20: 169-175.

- Orduña-Rojas, J., R. Suárez-Castro, E. S. López-Álvarez, R. Riosmena-Rodríguez, I. Pacheco-Ruiz, J. A. Zertuche-González & A. E. Meling-López. 2008b. Influence of alkali treatment on agar from *Gracilariopsis longissima* and *Gracilaria vermiculophylla* from the Gulf of California, México. *Cienc. Mar.* 34 (4): 503-511.
- Pereira-Pachecho, F., D. Robledo, L. Rodríguez-Carvajal & Y. Freile-Pelegrin. 2007. Optimization of native agar extraction from *Hydropuntia cornea* from Yucatan, México. *Biosour Technol.* 98: 1278-1284.
- Perfeto, P. N. M. 1998. Relation between chemical composition of *Grateloupia doryphora* (Montagne) Howe, *Gymnogongrus griffithside* (Turner) Martius, and abiotic parameters. *Acta Bot. Bra.* 12: 77-88.
- Perfeto, P. N. M., L. R. Dillenburg, T. L. de Almeida & A. Schwarzbald. 2004. Effects of temperature, light intensity and phosphorus concentration in the chemical composition of *Gelidium crinale* (Turner) Lamouroux (Rhodophyta, Gelidiaceae). *Biociências.* 12(1): 3-10.
- Phooprong, S., H. Ogawa & K. Hayashizaki. 2007. Photosynthetic and respiratory responses of *Gracilaria vermiculophylla* (Ohmi) Papenfuss collected from Kumamoto, Shizouka and Iwate, Japan. *J. Appl Phycol.* On line. DOI 10.1007/s108-007-9253-9.
- Rebello, J., M. Ohno, H. Ukeda, H. Kusunose & M. Sawamura. 1997. 3,6 anhydrogalactose, sulfate and methoxyl contents for commercial agarophytes from different geographical origins. *J. Appl. Phycol.* 9: 367-370.
- Roleda, M. Y., E. T. Ganzon-Fortes, N. E. Montaña & F. N. de los Reyes. 1997. Temporal variation in the biomass, quantity and quality of agar from *Gelidiella acerosa* (Forsskal) Feldman et Hamel (Rhodophyta: Gelidiales) from Cape Boliano, NW Philippines. *Bot. Mar.* 40: 487-495.
- Romero, J. B., R. D. Villanueva & M. N. E. Montaña. 2008. Stability of agar in the seaweed *Gracilaria eucheumatoides* (Gracilariales, Rhodophyta) during postharvest storage. *Bioresour. Technol.* DOI: 10.1018/j/biortech.2008.03.017
- Rueness, J. 2005. Life history and sequences of *Gracilaria vermiculophylla* (Gracilariales, Rhodophyta), a new introduction to european waters. *Phycologia.* 44:120-128.

- Santelices, B. 2001. Implications of clonal and chimeric-type thallus organization on seaweed farming and harvesting. *J. App. Phycol.* 13: 153–160.
- Santelices, B. 2004. A Comparison of Ecological Responses among Aclonal (unitary), Clonal and Coalescing Macroalgae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 300: 31-64.
- Santelices, B. & E. Fonck. 1979. Ecología y cultivo de *Gracilaria lemaneiformis*. En: Santelices B. (Ed.), *Actas I Symp. Algas marinas chilenas*. 1: 165-200.
- Santos-Baca, L. 2008. *Evaluación de los hábitos de alimentación de la tortuga verde Chelonia mydas, en Bahía Magdalena, B. C. S., México, utilizando la técnica de isótopos estables ($\delta^{15}N$ y $\delta^{13}C$)*. Tesis de Maestría. CIBNOR, 78p.
- Sousa-Pinto, I., E. Murano, S. Coelho, A. Felga & R. Pereira. 1999. The effect of light on growth and agar content of *Gelidium pulchellum* (Gelidiaceae, Rhodophyta) in culture. *Hydrobiologia*. 398/399: 329-338.
- Steward, J.G. 1984. *Vegetative growth rates of Pterocladia capillacea (Gelidiaceae, Rhodophyta)*. *Bot. Mar.* 26: 85.–94.
- Stewart, J. G. 1984. Distribution and temperature: test of an hypothesis based on vegetative growth rates. *Bull. Southern California Acad. Sci.* 83 (2): 57-68.
- Thomsen, M. S. & K. J. McGlathery. 2007. Stress tolerance of the invasive macroalgae *Codium fragile* and *Gracilaria vermiculophylla* in a soft-bottom turbid lagoon. *Biol. Invasions*. 9: 499-513.
- Thomsen, M. S., C. F. Deluqui, S. Fredericq & K. J. McGlathery. 2005. *Gracilaria vermiculophylla* (Rhodophyta, Gracilariales) in Hog Island Bay, Virginia: a cryptic alien and invasive macroalga and taxonomic correction. *J. Phycol.* 42: 139-141.
- Thomsen, M. S., P. A. Staehr, C. D. Nyberg, S. Schwaerter, D. Krause-Jensen & B. R. Silliman. 2007. *Gracilaria vermiculophylla* (Ohmi) Papenfuss, 1967 (Rhodophyta, Gracilareaceae) in northern Europe, with emphasis on Danish conditions and what to expect in the future. *Aquat. Inv.* 2(2): 83-94.
- Tsai, Chuan-Chuan, Jui-Sheng Chang, Fuu Sheu, Yuang-Tay Shyu, Amanda Yi-Chuan, Saou-Lien Wong, Chang-Feng Dai & Tse-Min Lee. 2005. Seasonal growth dynamics of *Laurencia papillosa* and *Gracilaria coronopifolia* for a highly eutrophic reef in southern Taiwan: temperature limitation and nutrient availability. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 315: 49-69.

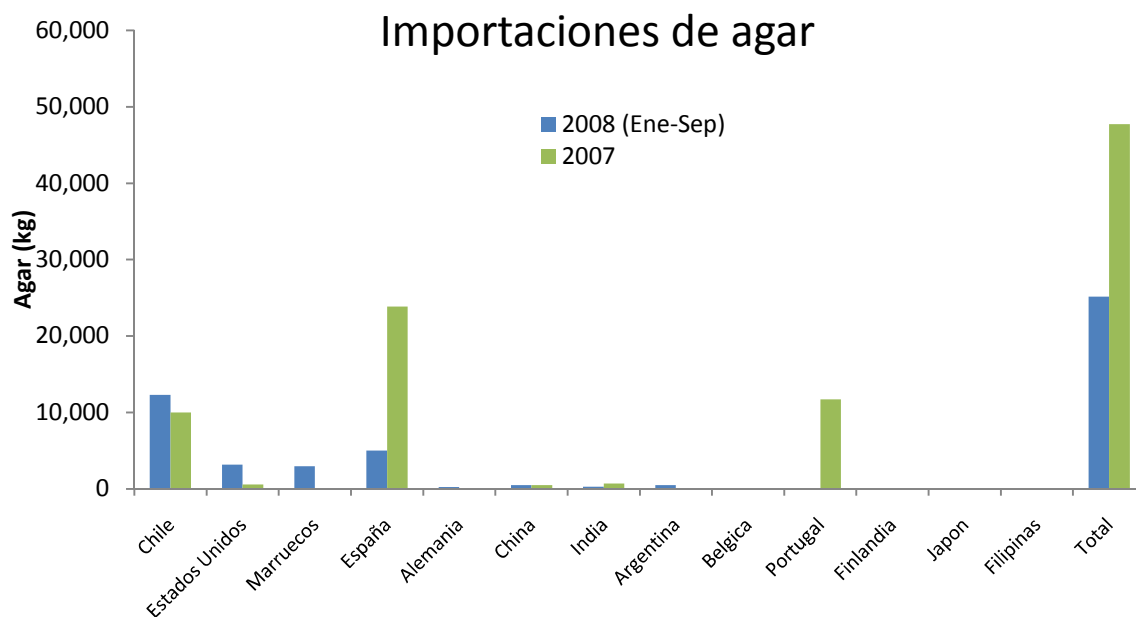
- Tyler, A. C. & K. J. McGlathery. 2006. Uptake and release of nitrogen by the macroalgae *Gracilaria vermiculophylla* (Rhodophyta). *J. Phycol.* 42: 515-525.
- Vergara-Rodarte, M. A. 2006. *Tendencias poblacionales de Gracilaria vermiculophylla en Laguna San Ignacio B. C. S. México. Durante un ciclo anual*. Tesis de Licenciatura. UABCS, 48 p.
- Wakibia, J.G., R.J. Anderson & D.W. Keats. 2001. Growth rates and agar properties of three gracilaroids in suspended open-water cultivation in St. Helena Bay, South Africa. *J. App. Phycol.* 13:195-207.
- Weinberger, F., B. Buchholz, R. Karez & M. Wahl. 2008. The invasive red alga *Gracilaria vermiculophylla* in the Baltic Sea: adaptation to brackish water may compensate for light limitation. *Aquat. Biol.* 3: 251-264.
- Winant, C. D. & G. Gutiérrez de Velasco. 2003. Tidal dynamics and residual circulation in a well-mixed inverse estuary. *Ame. Meteo. Soc.* July: 1365-1379.
- Yalpani, M. 1988. *Polysaccharides: Syntheses, modifications and structure/property relations*. Elsevier. Holanda. 499 p.
- Zertuche-González, J. A. 1993. Situación actual de la industria de las algas marinas productoras de ficocoloides en México. En: Zertuche-González (Ed.) Situación actual de la industria de las macroalgas productoras de ficocoloides en América latina y el Caribe. FAO Documento de campo No. 13. México. 66 p.
- Zertuche-González, J. A. & J. García-Esquivel. 1993. Promoción del cultivo del alga *Gracilaria* en México. En: Zertuche-González (Ed.) Situación actual de la industria de las macroalgas productoras de ficocoloides en América latina y el Caribe. FAO Documento de campo No. 13. México. 66 p.

CITAS DE INTERNET

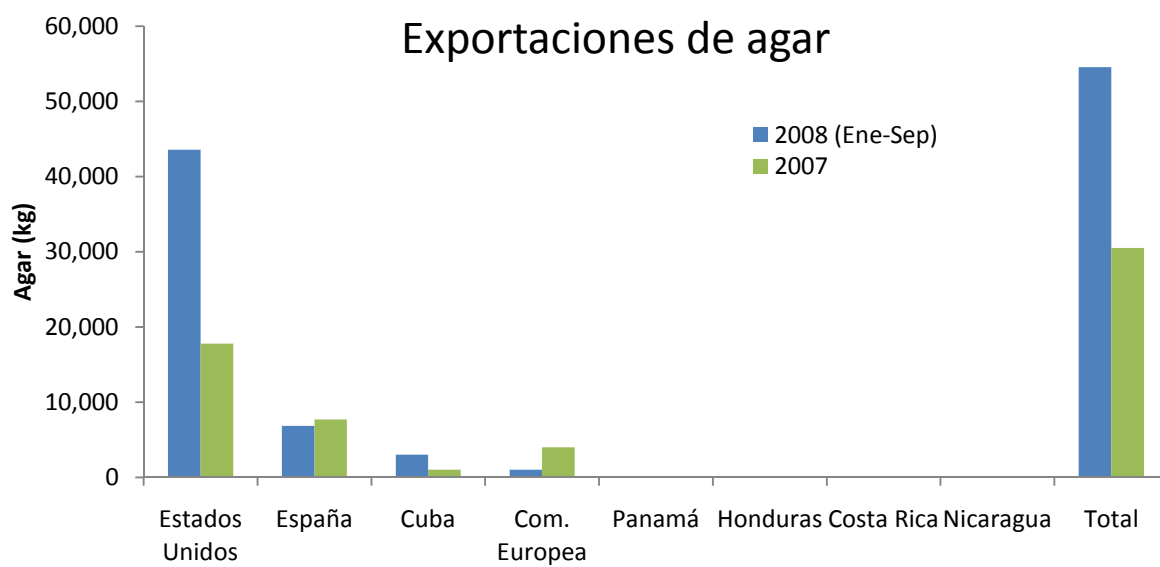
1. IFOP, 2009. www.ifop.cl/glosario10.html. Consultada 11/03/2009.
2. Hydrocolloid, 2008. www.hydrocolloid.com. Consultada 13/11/2008.
3. Secretaria de Economía, 2008. www.economia.gob.mx. Sistema de Información Arancelaria. Consultada en diciembre de 2008.

11. ANEXOS

Anexo 1. Volumen y origen de las importaciones de agar en México durante el periodo 2007-2008 (Secretaría de Economía, 2008).



Anexo 2. Volumen de las exportaciones de agar en México durante el periodo 2007-2008 (Secretaría de Economía, 2008)



Anexo 3. Cosecha histórica de los recursos algales explotados en México hasta el año 2005 (modificado de: Instituto Nacional de la Pesca - CRIP Ensenada).

	<i>Macrocystis pyrifera</i>	<i>Gelidium robustum</i>	<i>Chondracanthus canaliculatus</i>	<i>Gracilariopsis lemaneiformis</i>
Año	t húmedas	t secas	t secas	t secas
1955		59		
1956		124		
1957		69		
1958		79		
1959	17,186	158		
1960	14,224	264		
1961	13,620	273		
1962	20,780	441		
1963	18,999	331		
1964	22,945	361		
1965	16,789	811		
1966	23,136	1,027	65	
1967	20,769	1,500	123	
1968	28,478	561	435	
1969	26,820	302	471	
1970	29,187	439	556	
1971	18,170	565	493	
1972	24,805	358	400	
1973	29,393	587	526	
1974	37,066	1,748	638	
1975	27,758	2,799	957	
1976	41,569	3,091	769	
1977	41,472	2,326	1,055	
1978	30,239	1,315	577	
1979	31,046	1,713	1,105	
1980	23,082	709	561	
1981	21,423	770	324	
1982	29,718	403	327	
1983	2,958	574	217	
1984	12,673	579	189	
1985	26,040	747	122	
1986	36,502	619	97	
1987	23,147	452	210	
1988	16,812	649	123	
1989	34,247	345	120	
1990	39,575	624	314	
1991	29,931	657	408	
1992	39,919	594	93	
1993	65,958	551	22	
1994	26,078	375	92	
1995	39,142	373	125	Inicio de captura
1996	20,710	238	94	150
1997	31,378	40	105	
1998	5,563	771	89	
1999	36,832	456	29	
2000	25,681	441	0	200
2001	34,756			
2002	22,654			
2003	20,075			
Promedio histórico	26,651	760	338	Cosecha reciente
Desviación estándar	10,870	674	297	

Anexo 4. Coordenadas de referencia de los mantos de *G. vermiculophylla* medidos con GPS. (***) datos no disponibles)

	Latitud	Longitud
Otoño 2007		
Manto 1	26'38.701"	113'7.59"
Invierno 2008		
Manto 1	26'40.473"	113'7.103"
Manto 2	26'40.253"	113'7.274
Primavera 2008		
Manto 1	26'41.431"	113'7.634"
Manto 2	26'41.387"	113'5.516"
Manto 3	26'41.257"	113'7.561"
Manto 4	26'41.056"	113'7.466"
Manto 5	***	***
Manto 6	26'38.902"	113'7.46"
Manto 7	***	***
Manto 8	26'40.121"	113'7.154"
Manto 9	26'40.369"	113'7.565"
Manto 10	***	***
Verano 2008		
Manto 1	26'40.627"	113'7.181"
Manto 2	***	***
Manto 3	26'40.810"	113'7.081"
Manto 4	26'40.605"	113'7.441"
Manto 5	26'40.815"	113'8.368"

Anexo 5. Datos promedio mensuales y anuales del rendimiento y variables de calidad de agar por AGA de *G. vermiculophylla*.

	Meses	Rendimiento	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura de gelificación (°C)	Fuerza de gel (g cm ⁻²)
AGA 2004	1	22.1	85.3	37.7	50.5
	2	20.0	87.3	33.4	66.4
	3	19.0	83.6	31.7	69.2
	5	19.4	86.0	35.0	69.7
	7	20.5	84.7	36.2	74.3
	9	25.9	85.4	36.6	65.3
	12	21.0	85.32	37.8	64.3
Promedio		21.1	85.4	35.5	65.7
AGA 2005	1	29.9	91.1	38.6	412.1
	2	32.4	91.0	41.4	404.0
	3	29.3	90.3	38.9	399.6
	5	32.1	91.2	41.4	375.4
	7	36.0	90.8	41.1	335.2
	9	35.5	90.5	40.3	361.6
	12	28.0	90.4	43.3	593.0
Promedio		31.9	90.7	40.7	411.6

Anexo 6. Resultados obtenidos en la evaluación de los mantos de *Gracilaria* (Bm = biomasa muestral, At = área total del manto, Cm = cobertura muestral, Bt = Biomasa total del manto, Desv. Est. = desviación estándar).

	$\beta m(\text{kg m}^{-2})$	$At(\text{m}^2)$	$Cm(\%)$	$\beta t(\text{t})$	Desv. Est. (t)
OTOÑO 2007					
Manto 1	4.6	44,500	65	135	± 34
INVIERNO 2008					
Manto 1	4.48	4,682	50	10.5	± 5.7
Manto 2	2.82	946	60	1.6	± 0.9
Total				12.1	± 6.6
PRIMAVERA 2008					
Manto 1	1245	2,500	50	1.5	± 0.75
Manto 2	5.92	2,100	65	8	± 3
Manto 3	5.35	104,700	60	336	± 106
Manto 4	2.26	80,700	40	73	± 45
Manto 5	2.26	600	90	1.2	± 0.75
Manto 6	11	50,000	75	414	± 209
Manto 7	11	1,500	40	6.6	± 3.1
Manto 8	5.26	21,000	70	83	± 15
Manto 9	2.24	60,000	55	74	± 38
Manto 10	2.24	3,750	85	7.1	± 3.7
Total				1,004.5	± 424.3
VERANO 2008					
Manto 1	5.5	21,880	85	102	± 17.5
Manto 2	5.5	450	60	1.5	± 0.25
Manto 3	5.5	9,170	60	30	± 5
Manto 4	5.2	15,900	83	70.5	± 22
Manto 5	5.2	15,300	30	24	± 7.5
Total				228	± 52.25

Anexo 7. Rendimiento y calidad de agar nativo y con tratamiento alcalino de *Gracilaria vermiculophylla*. Promedio anual (n=3).

Estación	Nativo	Alcalino	Diferencia (%)
Rendimiento (%)			
Otoño-07	26	14	46
Invierno-08	22	14	36
Primavera-08	25	12	52
Verano-08	29	17	41
Fuerza de Gel (g cm ⁻²)			
Otoño-07	61	891	1,360
Invierno-08	78	933	1,096
Primavera-08	137	1,132	726
Verano-08	170	1,024	502
Temperatura de fusión (°C)			
Otoño-07	66	94	42
Invierno-08	71	98	38
Primavera-08	74	93	25
Verano-08	75	92	23
Temperatura de gelificación (°C)			
Otoño-07	24	49	104
Invierno-08	26	40	54
Primavera-08	27	38	41
Verano-08	30	68	127