

EL COLEGIO DE LA FRONTERA NORTE
Y
CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE EDUCACION
SUPERIOR DE ENSENADA (CICESE)

MAESTRIA EN ADMINISTRACION INTEGRAL DEL AMBIENTE
PROMOCION 1998-2000

*Estrategia de cosecha para la extracción de una macroalga marina
(Sargassum muticum, Phaeophyta) en la costa Noroccidental
de Baja California, México.*

TESIS DE MAESTRIA

PRESENTADA POR:

Gabriela Sampedro Avila

Tijuana, Baja California a 30 de agosto del 2000.

Resumen

En el presente escrito pretendo analizar el caso de una especie exótica que fue introducida en los años setentas a la costa noroccidental de nuestro país, trayendo consigo consecuencias ecológicas y económicas a la región. La especie a la que me refiero es una macroalga marina, *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt, originaria de Japón, ampliamente conocida en el mundo por los recientes cambios de gran escala que ha sufrido en su distribución geográfica. Su agresividad como especie invasora se la dan una serie de características muy particulares, entre ellas, su capacidad de vivir en un amplio rango de salinidad y temperatura, su disco basal perene, su acelerado crecimiento y, su dispersión a través de fragmentos monoicos fértiles. Estas características le han permitido desplazar a otras especies y ocupar espacios que originalmente no le correspondían. A principios de los setenta, la especie alcanzó las costas de Baja California (México) en el Pacífico (Abbott y North, 1972) y desde entonces ha avanzado hacia el sur de la Península. Actualmente su límite sur se encuentra en las costas de Bahía Magdalena, B.C., y en varios estudios se predice que su extensión aún no ha terminado; se teme que en un futuro cercano entre al Golfo de California. Como una alternativa para controlar las poblaciones de *Sargassum muticum* en la Península, se propone la cosecha de la macroalga para usarla a nivel industrial en la extracción de su ácido alginico y, se sugiere que la cosecha también representaría una externalidad positiva para la sociedad y una diversificación de recursos en el sector pesquero. El objetivo de la investigación es proponer una estrategia de cosecha para esta especie en la costa noroccidental de Baja California, justificando el supuesto de que su extracción a escala comercial es una opción ecológica y económicamente viable. Los análisis se realizaron con datos generados entre 1992 y 1993 en la zona de Punta Morro en la Bahía de Todos Santos, B.C. A través de un análisis exploratorio de los datos y mediante un análisis de varianza para un modelo unifactorial de efectos fijos se concluye que existe un efecto estacional sobre la tasa de crecimiento y la talla de los individuos de *Sargassum muticum*; y que la mejor época para cosechar la macroalga es durante su máximo reproductivo y antes de que el tallo esté senil, es decir, a mediados de la primavera y principios del verano (mayo, junio y julio). Además, a partir de un análisis bibliográfico y hemerográfico, se demuestra que el comercio exterior en torno a la pesquería de las macroalgas en México es deficitario y que la cosecha e industrialización de *Sargassum muticum* es una opción viable para ser parte de una política orientada a eliminar dicho déficit.

**Estrategia de cosecha para la extracción de una macroalga marina
(*Sargassum muticum*, Phaeophyta) en la costa Noroccidental
de Baja California, México.**

TESIS

Que presenta:

GABRIELA SAMPEDRO AVILA

Aprobada por:

Co-Director

M.C. José Antonio Eliseo Almanza



Co-Director

Mtro. Alfonso Mercado

Lector Interno

Dr. Luis Eduardo Calderón

Lector Externo

Dr. Rafael Martínez Blanco

DEDICATORIA

A mi padre, por que sin su amor y sacrificio yo no podría estar alcanzando esta meta.

A mi madre, mi mejor amiga, por el apoyo y la comprensión que me ha mantenido de pie aún en los momentos más difíciles.

A mis queridos hermanos, por la alegría que le dan a mi vida.

A mi abuelita Flora, porque el amor que me brinda cada día es un sol en mi vida.

A mis tías Nohemí y Sole, por el amor incondicional que siempre he encontrado en sus brazos.

A mis tíos Guillermo, Raul y Alejandro, por que en las diferentes etapas de mi vida me han brindado cariño, alegría y consejo.

A mi querida amiga Ana Ruth, porque siempre ha sido una luz en mi camino.

A mis preciosos amigos Paty, Cesar, Karen y David, por su apoyo y cariño incondicional.

A la memoria de mi abuelito Guillermo, quien me enseñó que debo despertar cada día cantando.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento:

A mis directores el M.C. José Antonio Eliseo Almanza y el Mtro. Alfonso Mercado, por su amistad y dirección.

A mis lectores el Dr. Luis Eduardo Calderón y el Dr. Rafael Martínez Blanco, por su ayuda para mejorar este trabajo.

A Raul Aguilar por todo el apoyo y la asesoría que me brindó desde el momento de la elección del tema de mi tesis.

A mi maestro Carlos de la Parra, salud!

A Nacho Méndez y a Ruth por todas sus asesorías.

A Alberto Hernández por sus nutritivos consejos.

A mis compañeros de la maestría por su amistad y apoyo; especialmente a Ari, Leonardo, Marielos y Xochitl.

A mi coordinadora de Maestría la Mtra. Lina Ojeda, por su apoyo y su genuina preocupación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Al Colegio de la Frontera Norte (COLEF) y al Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE).

Indice

	Pag.
Lista de figuras	i
Lista de tablas	ii
Capítulo I. <i>Sargassum muticum</i>: una especie introducida en la costa noroccidental de México	
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes generales de la especie <i>Sargassum muticum</i>	3
1.2.1. Antecedentes biológicos y ecológicos de la especie	4
1.2.2. Antecedentes del rango y distribución geográfica de la especie	12
1.2.3. Antecedentes del uso y extracción de la especie	19
Capítulo II. Marco Teórico	
2.1. Introducción	27
2.2. Biología de <i>Sargassum muticum</i>	27
2.3. Introducción de especies exóticas	33
2.4. Justificación de la necesidad de administrar el recurso potencial <i>Sargassum muticum</i>	38
2.5. Discusiones sobre el comercio internacional	41
Capítulo III. Metodología	
3.1. Introducción	43
3.2. Propuesta de una primera estrategia de cosecha para <i>Sargassum muticum</i> en la costa noroccidental de Baja California	44
3.2.1. Descripción de la zona de estudio	44
3.2.2. Método de muestreo	46
3.2.3. Variables de muestreo	47
3.2.4. Técnicas de procesamiento de datos	47
3.3. Análisis de las consideraciones económicas presentes en la propuesta de extracción y uso de <i>Sargassum muticum</i>	50
3.3.1. Descripción del espacio potencial de mercado para los productos de <i>Sargassum Muticum</i>	51
3.3.2. Análisis del comercio exterior en torno a los recursos algales en México	51
Capítulo IV. Resultados y Discusiones	
4.1. Introducción	52
4.2. Propuesta de una primera estrategia de cosecha para <i>Sargassum muticum</i> en la costa noroccidental de Baja California	52
4.2.1. Elementos de descripción de la dinámica poblacional de <i>Sargassum muticum</i> en la costa noroccidental de Baja California	53
4.2.2. Análisis de varianza para un modelo unifactorial de efectos fijos	60

4.3. Análisis de las consideraciones económicas presentes en la propuesta de extracción y uso de <i>Sargassum muticum</i>	64
4.3.1. Descripción del espacio potencial de mercado para los productos de <i>Sargassum muticum</i>	65
4.3.1.1. Explotación y uso de las macroalgas	65
4.3.1.2. La pesquería de macroalgas en Baja California	68
4.3.1.3. Uso industrial de los alginatos	71
4.3.1.4. Discusiones	76
4.3.2. Análisis del comercio exterior en torno a los recursos algales en México	77
4.3.2.1. Discusiones	80
Capítulo V. Conclusiones generales	81
Referencias bibliográficas	84
Anexos	90

Lista de Figuras

	Pag.
Figura 1.2.2.1. Mapa de distribución geográfica de <i>Sargassum muticum</i> en el tiempo	14
Figura 2.2.1. Dibujo de la anatomía y morfología de <i>Sargassum muticum</i>	29
Figura 2.2.2. Dibujo del ciclo de vida de <i>Sargassum muticum</i>	30
Figura 5.2.1. Mapa de la zona de estudio	45
Figura 3.2.2.1. Esquema del procesamiento de los datos utilizados en la investigación	47
Figura 4.2.1.1 Relación de la talla y el estado reproductivo en el tiempo	54
Figura 4.2.1.2. Comportamiento de la tasa de crecimiento en el tiempo	55
Figura 4.2.1.3. Comportamiento de la talla de los organismos en el tiempo	55
Figura 4.2.1.4. Tendencia de la talla en 1992	58
Figura 4.2.1.5. Tendencia de la talla en 1993	58
Figura 4.2.1.6. Tendencia de la tasa de crecimiento en 1992	59
Figura 4.2.1.7. Tendencia de la tasa de crecimiento en 1993	59

Lista de Tablas

	Pag.
Tabla 1.2.1. Antecedentes de <i>Sargassum</i> spp.	24
Tabla 4.2.1.1. Datos de los muestreos	56
Tabla 4.2.1.2. Muestreos representativos del ciclo estacional	57
Tabla 4.2.1.3. Datos representativos del comportamiento anual de la talla (mediana)	57
Tabla 4.2.1.4. Comportamiento anual de la tasa de crecimiento	58
Tabla 4.2.2.1. Parámetros estimados para la variable (y_{ij}) talla	61
Tabla 4.2.2.2. Parámetros estimados para la variable (y_{ij}) tasa de crecimiento	62
Tabla 4.3.1.1.1. Especies de macroalgas explotadas comercialmente en México	68
Tabla 4.3.1.2.1. Producción anual de macroalgas en Baja California (tons)	69
Tabla 4.3.3.1. Fuentes principales de ficocolides algales	73
Tabla 4.3.2.1. Importaciones a México de alginatos en miles de pesos	77
Tabla 4.3.2.2. Valor representativo de las importaciones de mucílagos y espesativos derivados de vegetales en los que se incluyen los alginatos para 1998	78
Tabla 4.3.2.4. Valor de las exportaciones de agar y algas en miles de pesos para 1998	79

CAPITULO I. *Sargassum muticum*: Una especie introducida en la costa noroccidental de México.

1.1. Introducción

Cuando hablamos de recursos vegetales (agrícolas, forestales, silvestres, etc.) nos referimos a diversas formas, características y composición química-estructural, que determinan el tipo de aprovechamiento que tienen. En el caso de los recursos vegetales marinos, mejor conocidos como algas marinas, el fenómeno mencionado es, en principio, exactamente el mismo.

Las algas marinas se dividen en gran cantidad de géneros y se distribuyen alrededor del planeta de acuerdo a las condiciones ambientales de cada lugar, asimismo, cada especie tiene su propia función y utilidad de acuerdo a su composición química y a su papel ecológico en la comunidad que habitan.

Por otro lado, las algas en general se dividen en microalgas (microscópicas) y macroalgas. Al aprovechamiento de estas últimas se le denomina "la pesquería de algas marinas", por ser una actividad que se realiza con técnicas de pesca y por tanto, atañe al sector pesquero (Molina, 1988).

En los aproximados 10 000 km de costas con los que cuenta el país existe una gran variedad de climas y características fisiográficas que favorecen la presencia de una alta diversidad de flora algal, especialmente en la Península de Baja California donde existen varias especies con importancia comercial (Guzman del Proó *et al*, 1986).

En el presente trabajo de investigación pretendo analizar un caso muy interesante sobre una especie exótica que al ser introducida en los años setentas a la costa noroccidental de nuestro país, trajo consigo importantes consecuencias ecológicas y económicas para la región. La especie a la que me refiero es una macroalga marina, *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt, originaria de Japón y ampliamente conocida en el

mundo por los recientes cambios de gran escala que ha sufrido en su distribución geográfica.

Su agresividad como especie invasora se la dan una serie de características muy particulares, entre ellas, su capacidad de vivir en un amplio rango de salinidad y temperatura, su disco basal perene, su acelerado crecimiento y, su dispersión a través de fragmentos monoicos fértiles. Estas características le han permitido desplazar a otras especies y ocupar espacios que originalmente no le correspondían.

La conservación de las macroalgas es un tema que no ha recibido la atención que merece. En el caso de los ambientes terrestres ya se ha reconocido la necesidad de la conservación de los habitats para preservar la biodiversidad; el mismo principio es aplicable al ambiente marino. Son tres las principales amenazas contra la biodiversidad de las macroalgas: la alienación de habitats, la contaminación y la introducción de especies exóticas.

El desplazamiento de la flora algal existente por especies introducidas, intencional o accidentalmente, ha sido reportado por varios autores (Sindermann 1991, Chambers *et al.*, 1993); principalmente en casos relacionados con Phaeophytas por ser estas miembros dominantes en las comunidades macroalgales. Los disturbios ocasionados por dicho fenómeno se reflejan en cambios en la estructura de la comunidad y en las cadenas alimenticias.

En resumen, si *Sargassum muticum* es un recurso con potencial para ser explotado a escala industrial; sus productos tienen un espacio en el mercado y, su presencia incontrolada es una amenaza para la biodiversidad del ecosistema; su extracción resultaría en una aportación a la economía de la región y, representaría una externalidad positiva para la sociedad.

Objetivo general:

Con la información que hasta el momento ha sido generada en torno a *Sargassum muticum*, proponer una primera estrategia de cosecha para esta especie en la costa noroccidental de Baja California, justificando el supuesto de que su extracción a escala comercial es una opción ecológica y económicamente viable.

Objetivos particulares:

1. Describir el problema que representa la introducción de *Sargassum muticum* en los ambientes costeros.
2. Hacer una revisión de la explotación y el uso de esta macroalga a nivel mundial y nacional.
3. Proponer una primera estrategia de cosecha para la macroalga en la costa noroccidental de Baja California.
4. Evaluar el espacio potencial que tienen los productos de *Sargassum muticum*, en el mercado nacional e internacional.
5. Analizar el comercio exterior en torno a los recursos algales en México.

1.2. Antecedentes generales de la especie *Sargassum muticum*

Actualmente el nombre científico válido para esta macroalga es *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt 1955 (Yoshida, 1983). El primer binomio aplicado a la especie fue *Sargassum kjellmanianum* f *muticum* (Yendo, 1907). Posteriormente Fensholt (1955) propuso la transferencia de la forma a nivel específico. Otro sinónimo nomenclatural de esta especie es *Sargassum kjellmanianum sensu* Okamura (1942). Por otro lado, se le han otorgado diversos nombres comunes, por ejemplo, en Japón se conoce como Tama-hahaki-moku, en Inglaterra como Japweed y en México como Arbolillo (Aguilar, 1989).

Sargassum muticum es un alga parda marina originaria del Japón, que fue introducida accidentalmente en las costas de Norteamérica (Columbia Británica) en la década de los cuarenta. Al parecer el medio de introducción fue la importación del ostión japonés *Crassostrea gigas* que se importó desde Japón (Scagel, 1956).

La introducción de *Sargassum muticum* a las costas de varios países del mundo ha generado un esfuerzo de investigación impresionante. Tan sólo Critchley (1990) hace una compilación de aproximadamente 300 publicaciones concernientes a la especie.

A principios de los años setentas, cuando se detectaron las primeras poblaciones en la parte norte de Baja California, se comenzó a generar información sobre la especie en las costas de México. Sin embargo, fue hasta mediados de los ochentas que se iniciaron los estudios sobre aspectos relacionados con la biología, ecología y química de las poblaciones (Aguilar y Aguilar, 1985; Espinoza y Rodríguez, 1986; Espinoza, 1990).

En esta sección pretendo exponer, de manera resumida y concisa, la información que ha sido generada en los últimos cuarenta años en torno a *Sargassum muticum* y a su papel como especie introducida.

1.2.1. Antecedentes biológicos y ecológicos de la especie

Sargassum muticum es una macroalga parda originaria de Japón que ha logrado aumentar su distribución geográfica alrededor del planeta de una manera impresionante. Como ya se mencionó anteriormente, esta capacidad de adaptación se la debe a una serie de características biológicas muy particulares de la especie que se describen en el siguiente capítulo del trabajo.

Dicha capacidad de adaptación le permitió a *Sargassum muticum*, incluirse como un miembro permanente en la flora algal de la costa noroccidental de nuestro país a partir

de su introducción en los años setentas. La ampliación de su rango de distribución geográfica se discute más adelante.

En Japón más de 10 especies del género *Sargassum* compiten entre sí, este hecho aunado a que *S. muticum* tiene un ciclo de vida más corto y a que su talla es menor (1.20m en promedio), seguramente debido a la competencia interespecífica, explica porque en su ambiente nativo *Sargassum muticum* no representa una amenaza (Curiel *et al.*, 1998).

En un estudio realizado en las costas de California, se encontró que las tasas de crecimiento varían con la edad y que las plantas jóvenes tienen las mayores tasas. Se observó que las tasas varían entre 0.13 y 2.58 cm/día en el estipe principal, sin embargo, en el pasado se habían reportado tasas de 4 cm/día en otra ensenada de la misma región. En el mismo estudio se encontró que la biomasa varía de 139 a 554 g/m² y no se observó una relación significativa entre la densidad de plantas y la biomasa (Nicholson, 1981).

Comparando diversos estudios se puede concluir que el periodo reproductivo del alga varía dependiendo de la zona y de la temperatura, siguiendo un patrón estacional. En dos localidades de Baja California, Punta Morro y Raul's, se encontró que el máximo desarrollo reproductivo ocurre a finales de primavera y principios de verano (Mayo a Julio) para ambos sitios y en este mismo documento se establece que estas observaciones concuerdan con lo reportado para Bahía Tortugas en Baja California Sur. Por otro lado el tiempo de reproducción en ambas localidades es similar al reportado para la Isla Santa Catalina en California y para Bahía Tortugas, ya que se pueden encontrar plantas fértiles a lo largo de todo el año. En esta publicación se establece que tanto en Punta Morro como en Bahía Tortugas, los valores de máximo desarrollo reproductivo no coinciden con las máximas temperaturas (Aguilar y Machado, 1990).

En el límite norte de la distribución de *Sargassum muticum* en el Pacífico, De Wreed (1978) reporta que la reproducción se da sólo en el verano, lo que llevó al autor a predecir que más al sur el periodo reproductivo sería mayor dadas las temperaturas más

altas. Sin embargo, es interesante que en el estudio de Espinoza (1990) se encontró que los picos reproductivos se dieron cuando las temperaturas eran más frías (junio y julio) debido a eventos de surgencia.

Los resultados de todos estos estudios nos permiten sugerir que una posible explicación es que los factores físicos de temperatura y de luz favorecen el crecimiento del alga, pero no se relacionan directamente con su máximo desarrollo reproductivo.

En un estudio sobre fenología reproductiva de *Sargassum muticum* en la Península de Baja California, se encontró que dos poblaciones en Bahía Tortugas mostraron un porcentaje mayor de plantas reproductoras que una población en Punta Quebrada, lo cual demuestra que la especie exhibe diferentes fenologías reproductivas no solo en una escala global sino también en la local (Dreysler, 1984). El tiempo de desarrollo reproductivo en los tres sitios de estudio, fue igual al reportado para la isla de Santa Catalina en California (Nicholson, 1981), ya que se encontraron plantas fértiles a lo largo de todo el año.

Generalmente *Sargassum muticum* forma densas poblaciones desde el intermareal inferior al submareal en ambientes tranquilos, sin embargo, en su rango de distribución a lo largo de la costa noroccidental del pacífico americano hay varios reportes de su presencia en ambientes expuestos a alta energía de oleaje.

En el caso de *Sargassum muticum* la distribución interna poblacional, es decir, la manera en que los individuos se distribuyen en el espacio, se da con un patrón conocido como de contagio. Esta distribución es la más común en la naturaleza y se caracteriza porque los individuos u otros componentes se distribuyen al azar.

Las observaciones de Espinoza (1990) indicaron que en Baja California *Sargassum muticum* se restringe a los 2 m de profundidad, lo que se asemeja al comportamiento reportado para la especie en su límite norte, en Canadá, y es muy

diferente al reportado para el Sur de California, E.U., donde su límite vertical está en los 24 m (Norton, 1981).

En un estudio de la biología de *Sargassum muticum* en la isla de Santa Catalina, California, se encontró que existe una distribución diferencial de tallas en el perfil de la costa. El mayor número de plantas pequeñas están entre los 0 y los 2.9 m de profundidad, mientras que la mayoría de tamaño medio y grande se encontraron entre los 3 y los 10 m. Por otro lado, las mayores densidades estuvieron entre los 4 y 8 m y, aunque no se especifica en la publicación, yo supongo que estas profundidades se miden a partir del nivel medio del mar (Nicholson, 1981).

Por otro lado, *Sargassum muticum* fue una de las algas que se encontraron en mayor abundancia en Laguna San Ignacio (Nuñez-López y Casas-Valdez, 1998), quien junto con *Padina durvillae* se presentó en Punta Piedra, una región con sustrato rocoso y temperaturas bajas, mostrando una afinidad de estas especies por las aguas frías. *Sargassum muticum* es una especie típica de ambientes templados (Abbott y Hollenberg, 1976) y en esta región sólo se encontró durante el invierno. Es interesante notar que Punta Piedra es una zona de alta energía de oleaje y en ese estudio se menciona que *Sargassum muticum* tiene un disco de fijación desarrollado para soportar este tipo de condiciones.

En cuanto a su relación con otras especies, la fauna que habita en *Sargassum muticum* se estudió en Friday Harbor, Washington, E.U., durante el año de 1978. La fauna no era muy diversa, pero algunas especies se encontraron de manera frecuente y en gran abundancia: los anfípodos *Amphitoe mea* Gurjanova, *Aoroides columbiae* Walker, *Caprella laeviuscula* Mayer e *Ischyrocerus anguipes* Kryer; y el gastrópodo *Lacuna variegata* Carpenter. Estos organismos se encontraron en las regiones más iluminadas de la planta, donde había una cubierta de diatomeas *Biddulphia aurita* de Breb y *Melosira dubia* Kutz. Las estimaciones de este estudio sugieren que el tejido que se pierde por pastoreo se compensa fácilmente durante su período de rápido crecimiento (De Wreed, 1978).

En un estudio realizado en 1990 para la zona de Baja California, México (Aguilar y Machado, 1990), se encontró que *Sargassum muticum* presenta epífitas durante todo el año, pero existe una variación estacional en las especies presentes. La cantidad de epífitas disminuye en invierno en comparación con el verano, cuando se encuentra un espectro más amplio y una mayor abundancia.

En el mismo estudio se encontró que Punta Morro (sitio semiprotegido) mostró una mayor diversidad de epífitas que Raul's (sitio expuesto). El mayor número y variedad de epífitas encontradas en Punta Morro probablemente se debe a que ahí *Sargassum muticum* se encuentra en un rango más amplio de habitats (Aguilar y Machado, 1990).

En cuanto a la distribución de las epífitas, Aguilar y Machado (1990) dicen que la mayoría se encontraron en las partes perenes de la planta, cerca del órgano de fijación, especialmente en el invierno cuando se pierde la porción anual. Durante el verano la epífitas también se presentaban en la porción anual, sin embargo, gracias a los taninos las epífitas se restringen a las partes viejas del tallo cuando las plantas están en crecimiento. Jephson y Gray (1977) también reportan un comportamiento similar para *Sargassum muticum* en Inglaterra.

Algunas de las especies macroalgales que se relacionan con *Sargassum muticum* en la región de Baja California, México, durante todo el año, son: *Chaetomorpha linum*, *Enteromorpha intestinalis*, *Ulva californica*, *Ulva constata*, *Colpomenia peregrina*, *Pachydiction coriaceum*, *Sphacelaria furcigera*, *Acrosorium uncinatum*, *Ceramium eatonianum*, *Binghamia forkii*, *Hypnea* sp., *Jania* sp., *Laurencia sinicola*, *Laurencia subopposita* y *Pterosiphonia baileyi*; mientras tanto, *Codium fragile*, *Taonia lennebackeriae*, *Egregia menziesii*, *Haliptylon gracile* y *Pterosiphonia pennata*, se encontraron esporádicamente durante el ciclo anual (Aguilar y Machado, 1990).

El pastoreo y la competencia interespecífica son dos factores que al parecer afectan las dimensiones poblacionales de cualquier comunidad algal. En el caso de

Sargassum muticum el efecto del primer factor no es significativo en su desarrollo poblacional, sin embargo, al parecer sus poblaciones sí se ven limitadas por la presencia de otras cubiertas algales. Por ejemplo, las poblaciones de *Lithothrix aspergillum* y *Rhodomela larix* limitan la presencia de *Sargassum muticum* y no permiten que esta última invada sus zonas de desarrollo (Abbott, *et al*, 1980).

Claro está que si las poblaciones de *Lithothrix aspergillum* y *Rhodomela larix* se removieran *Sargassum muticum* no desaprovecharía la oportunidad y ocuparía sus espacios reproduciéndose rápidamente, esta es su manera de competir.

En el mismo estudio de Abbot *et al* (1980) se hizo una cosecha selectiva de *Sargassum muticum* y el resultado fue un decremento en el porcentaje de su presencia durante un intervalo de dos años, después del cual, la población se reestableció por sí misma. Durante el período de tiempo en el que la presencia de *Sargassum muticum* disminuyó, las macroalgas *Lithothrix aspergillum* y *Rhodomela larix* incrementaron sus tamaños poblacionales.

Abbott *et al* (1980) señala que en esta región –Columbia Británica, Canadá– la talla máxima de las plantas en *Sargassum muticum* se alcanzaba entre abril y mayo (primavera) y que cosechar en este período de tiempo resultaba en una estrategia de cosecha más severa y provocaba una ausencia de la especie por un espacio aproximado de cuatro años porque *Rhodomela larix* ocupaba su espacio.

Se hizo otro experimento cosechando durante el mismo período de tiempo –abril y mayo– pero dejando parches de *Sargassum muticum* para generar reclutas y el resultado fue distinto, la población se pudo restablecer pero en menores cantidades que en las zonas de control (en las que no hubo cosecha). Para Abbott *et al* (1980) la cosecha de *Sargassum muticum* se debe hacer con conocimiento de la dinámica de la comunidad para prevenir efectos no deseados. Para la comunidad estudiada por ellos en Columbia Británica, Canadá, la cosecha se podía realizar en la época de máximas tallas.

En un estudio realizado en la Laguna de Venecia se demostró que otro factor que le dá a *Sargassum muticum* una ventaja competitiva es que al parecer las aguas contaminadas por desechos orgánicos no son un obstáculo para su difusión, no obstante en el mismo estudio se comprobó que *Undaria pinnatifida* -otra especie introducida- tiene un mayor nivel de tolerancia (Curiel *et al.*, 1998).

Por otro lado, las frondas de *Sargassum muticum* reducen la radiación fotosintéticamente activa (RFA) con repercusión en las capas de algas que se encuentran debajo de ellas, llevando a un decremento en el número de especies, en la cobertura superficial y en el índice de Shannon. La superficie ocupada por el órgano de fijación del alga no parece ser un factor de competencia, como en el caso de *Undaria pinnatifida* (Curiel *et al.*, 1998).

La afirmación de que la reducción de la RFA sea el factor más importante en la ventaja competitiva de *Sargassum muticum*, concuerda con los resultados que Critchley *et al.* (1990) encontró en el suroeste de Holanda.

Existen estudios sobre los impactos ambientales que la presencia de *S. muticum* ha tenido en Europa (Rueness, 1989; Hales y Fletcher, 1990; Haroun e Izquierdo, 1991; Hartog, 1997; Viejo, 1997) y en las costas de California (Ambrose y Nelson, 1982; De Wreed, 1983), pero dado que el comportamiento de la especie no es equiparable a lo largo de su rango de distribución geográfica, esta información no es de utilidad para México. No es raro que entre las algas marinas del mismo género se de diferenciación morfológica bajo condiciones ambientales diferentes (Mathieson *et al.*, 1981; Paula y Oliveira, 1982), este tipo de diferenciación está sucediendo a nivel de especie con *S. muticum* a lo largo de su distribución global (De Wreed, 1978). Este hecho es responsable de que el comportamiento de la especie en las costas de nuestro país no sea el mismo que está teniendo en el continente europeo ni en el resto de la costa del Pacífico Norteamericano y, por lo tanto, es imposible comparar los impactos ambientales que su presencia ha provocado.

Una de las principales amenazas para la biodiversidad de las macroalgas es la introducción de especies exóticas y el hecho de cambiar la composición de estas especies en la región, se verá reflejado en un desbalance ecológico del ecosistema marino, amenazando la presencia de otras algas nativas con importancia ecológica y económica y, por otro lado, afectando las cadenas tróficas de una variedad de organismos marinos.

Sargassum muticum es un alga parda que pertenece a las fucales y, estas tienen la particularidad de ser ecológicamente dominantes y de ser especies clave en las comunidades de poca profundidad, por lo tanto, los cambios en esta vegetación pueden tener consecuencias o efectos indirectos en otras especies a nivel de sistema.

Por otra parte, una gran diversidad y abundancia de organismos epibiontes se han encontrado en *Sargassum muticum* (Rosas y Machado, 1990), sugiriendo que esta especie puede soportar una epibiota considerable y que su introducción tendrá como resultado un cambio significativo en la comunidad de epibiontes locales (com. per. M.C. Antonio Almanza).

En la Universidad Autónoma de Baja California, dentro de la Facultad de Ciencias Marinas, actualmente se desarrolla una investigación que evaluará cuantitativamente a la flora algal epífita en *Sargassum muticum* (com. per. M.C. Antonio Almanza). Conocer esta información nos podrá aproximar al conocimiento del grado de impacto en las poblaciones autóctonas de la región.

En la tabla 1.2.1 que se presenta al final del capítulo, se listan una serie de características que representan el comportamiento de la especie en diferentes zonas del planeta (época de reproducción, tallas máximas, biomasa, rendimiento de alginato).

1.2.2. Antecedentes del rango y distribución geográfica de la especie.

Para cualquier especie existe un fenómeno de expansión, el cual en el tiempo geológico permite que ésta gane la distribución que tiene en el presente. El rango de distribución de una especie es el resultado de constantes intentos de colonizar nuevos límites. Esta nueva colonización puede ocurrir a través de dispersión marginal (la extensión progresiva del rango en la vecindad), o por dispersión remota (con discontinuidad espacial entre el rango original y el nuevo). El proceso depende de los requerimientos ecológicos de la especie, las características del ambiente colonizado y de los mecanismos por medio de los cuales se cruzan las barreras biogeográficas. El concepto de introducción de especies se aplica cuando la extensión del rango de las especies está ligada, directa o indirectamente, a alguna actividad humana (Ribera, 1995).

Desde los tiempos más antiguos el hombre ha intervenido en la distribución de las especies, sin embargo, no fue sino hasta el siglo veinte que nuestro conocimiento fue suficiente para que fuéramos capaces de decir que una especie fue probablemente introducida. Una vez que suponemos que una especie ha sido introducida, lo que se hace es averiguar como llegó al nuevo rango, después se mide el nivel de éxito, es decir, la tasa a la cual se distribuye o avanza hacia nuevas invasiones y, finalmente, se observan los efectos que tiene sobre los miembros nativos del ecosistema.

En la invasión de *S. muticum*, aparentemente la dispersión ha sido tanto remota como marginal (Farnham, 1980) y tuvo su origen en los cuarentas (Scagel, 1956) cuando se introdujo accidentalmente a las costas de Norteamérica, específicamente a Columbia Británica (Canadá), adherida a las conchas del ostión japonés (*Crassostea gigas*) que se importaba para su cultivo en esta zona.

En 1983 se realizó una cronología (Critchley, *et al.*, 1983) de la distribución de *Sargassum muticum* en las costas europeas de 1973 a 1981. El reporte en 1971 del descubrimiento de la macroalga flotando a la deriva en las costas de Bembridge y la población encontrada en 1973 en el mismo lugar, indican que su introducción se dió a

finales de los sesentas. En esta publicación Critchley la presenta como un miembro permanente de la flora marina europea.

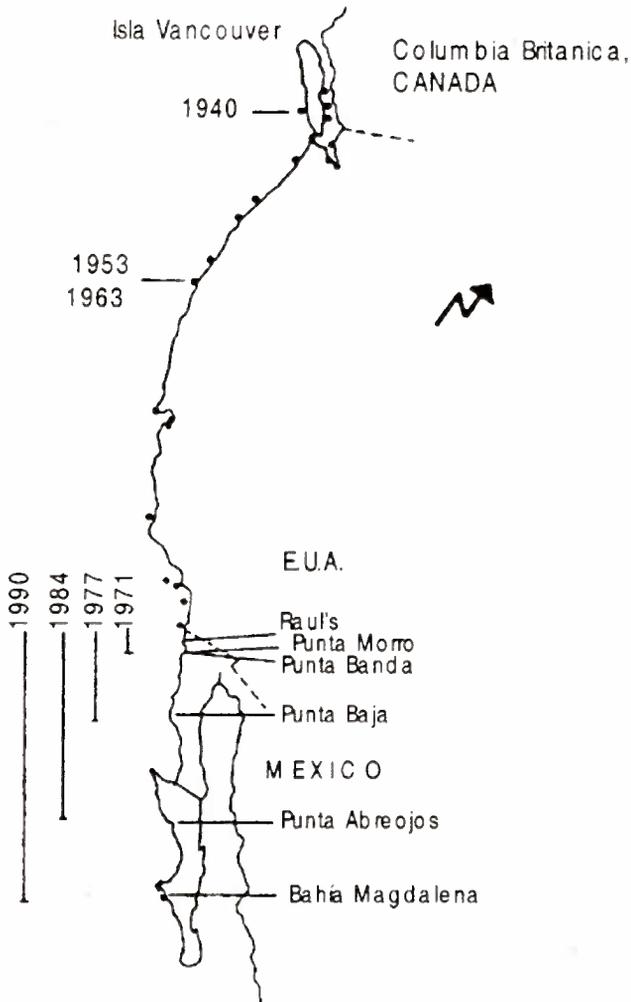
Critchley (1986) detalla que, apartir de los setentas, las poblaciones de *Sargassum muticum* en la costa Británica han crecido aceleradamente causando una variedad de problemas recreacionales y ecológicos. En esta misma publicación, se habla de los esfuerzos infructuosos que se han realizaron en este país para erradicar la presencia de la macroalga.

En 1997 se reportaron los límites de la invasión de *S. muticum* en el norte de España (Andrew y Viejo, 1997). El alga resultó ser abundante en playas protegidas y en pozas de marea en las playas expuestas, pero su presencia era rara o ausente en niveles intermareales bajos de playas expuestas. En ese trabajo se sugiere que la energía del oleaje promueve la ausencia de espacio libre y de provisión de propángulos en las playas expuestas, por lo tanto los autores concluyen que la especie no causará una alteración significativa en la ecología de estas costas.

A principios de los setenta el alga alcanzó las costas de Baja California (México) en el Pacífico (Abbott y North, 1972), además, se reportó su presencia dentro de aguas europeas en la Isla de Wight en Gran Bretaña (Farnham, *et al*, 1973), desde donde ha continuado avanzando sobre las costas de otros países del viejo continente (Critchley, *et al*, 1983). En el pasado solamente otra macroalga había logrado extender su rango a lo largo de las costas de dos continentes, *Codium fragile* subespecie *tomentosoides* (Silva, 1955).

Hoy en día la distribución geográfica de *S. muticum* en el Pacífico Norteamericano va desde la isla de Vancouver en Columbia Británica hasta Bahía Magdalena en Baja California Sur, con un rango de extensión de 4,300 km de costa (Aguilar y Aguilar, 1993). Ver el mapa en la figura 1.2.2.1.

Figura 1.2.2.1.. Mapa de la distribución geográfica de *Sargassum muticum* en el tiempo.



Tomado de: Aguilar y Machado, 1990.

Al parecer la primera zona en la que se registró la presencia de *S. muticum* en costas mexicanas fue en Punta Banda, aproximadamente 160 km al sur de la frontera con Estados Unidos en los años setentas (Setzer y Link, 1971). La manera en que la encontramos representada en las costas de la península de Baja California es como plantas individuales o en densas poblaciones distribuidas desde la parte superior de la zona intermareal hasta la zona submareal a los 20 m de profundidad (R. Aguilar y L. Aguilar 1983).

En 1985 (Aguilar y Aguilar, 1985) dan a conocer el establecimiento de *Sargassum muticum* como una adición permanente de la flora marina presente a lo largo y de la costa occidental de Baja California, con nuevos registros de su rango distribucional como resultados de observaciones y colectas realizadas durante los años 1983-1985.

En 1990 se reporta la extensión del rango de distribución geográfica de cuatro especies, entre las que se encuentra *Sargassum muticum* (R. Aguilar y L.E. Aguilar, 1990) y se discute la posibilidad de su extensión más al sur. Se dice que es posible refutar que el paso de los fragmentos fértiles del alga puede ser impedido por los edies que se forman cerca de Punta Abreojos. Por otro lado, aparentemente la temperatura tampoco será un obstáculo ya que existe una influencia de la corriente de California en el sur del Golfo de California (Norton, 1981).

A diferencia de otras zonas en las que esta alga se distribuye, en Baja California las poblaciones se reproducen durante todo el año, han tolerado altas temperaturas (hasta 28°C) y soportan ambientes de alta o baja energía, ya sea en costas abiertas, en bahías protegidas o en lagunas costeras (Aguilar y Aguilar, 1990; Andrew y Viejo, 1997; Espinoza, 1990). Estas características hacen de *S. muticum* una especie con un rango de tolerancia ambiental muy amplio, lo que permite predecir que en esta región la especie tendrá un futuro exitoso.

Aunque existe la alternativa de que *S. muticum* ya haya llegado a su límite geográfico a lo largo de la costa del Pacífico Norteamericano (Critchley, 1983), también se puede sugerir que, en un futuro cercano, va a colonizar las playas de la península por lo menos hasta Calerita en la Bahía de la Paz, B.C.S. (Aguilar y Aguilar, 1990), lo cual significa que otras especies de este y otros géneros van a ser desplazadas.

Dado que *Sargassum muticum* ha mostrado que puede proliferar en temperaturas tan altas como 25 °C, nos podemos preguntar si será capaz de soportar las temperaturas que se alcanzan en la Bahía de La Paz (hasta 29 °C); porque aunque se ha demostrado que el tallo de *Sargassum muticum* se daña en temperaturas de 30 °C, esto se ha probado con individuos de latitudes altas (50° N). Las poblaciones que han migrado al sur de la Península ahora son subtropicales (bajo los 24° N), por lo que se puede suponer que serán más tolerantes a las altas temperaturas como lo son las otras siete especies de *Sargassum* que habitan la costa este de la Península; un ejemplo claro que justifica el razonamiento anterior es el de las poblaciones de *Macrocystis pyrifera* en Bahía Asunción, las cuales pueden tolerar temperaturas más altas que las poblaciones de California (Aguilar y Aguilar, 1990).

Por otra parte, *Sargassum muticum* sobrevivió las anomalías en la temperatura debidas al fenómeno del niño del 82-84, cuando en agosto la temperatura en Bahía Magdalena superó los 28 °C (Saldiera-Martínez, *et al*, 1987). Basados en esto Aguilar y Aguilar (1990) llegan a la conclusión de que en un futuro cercano *Sargassum muticum* va a colonizar las playas de la Península hasta Calerita en Bahía de La Paz, B.C.S.

Espinoza (1990) reporta que aún cuando el área de costa colonizada en los ochentas y finales de los setentas por *Sargassum muticum* en el Pacífico Mexicano, corresponde a la mitad de la que fue colonizada entre 1963 y 1973 en la costa del Pacífico de Norteamérica, no se deben minimizar los riesgos de su posible extensión hacia el sur. Las exitosas técnicas de reproducción de la especie así como su capacidad de crecer y reproducirse en ambientes altamente expuestos al oleaje, permiten predecir que colonizará más espacio al sur de su actual límite de distribución.

al analizar la información que ya se ha generado respecto a la especie, puedo deducir que *Sargassum muticum* es un alga oportunista que no desplaza a otras especies por competencia directa, sino que aprovecha su ausencia temporal y se establece en el espacio que estas dejan libre, de tal forma que, inhibe su reclutamiento en el futuro y evita que las poblaciones se recuperen.

En 1982 se reportó en California, E.U., que después de una desaparición natural del alga nativa *Macrocystis pyrifera*, especie faeofita que utiliza los mismos recursos que *Sargassum muticum* pero que se diferencia de esta última por su capacidad de vivir en profundidades mayores, ésta especie exótica logró avanzar a mayores profundidades e inhibió el posterior reclutamiento del "sargazo gigante" (Ambrose y Nelson, 1982).

Del párrafo anterior no sólo se debe subrayar la impresionante capacidad de adaptación de *S. muticum*, sino también la amenaza que vive una de las especies algales con mayor importancia ecológica y económica: *Macrocystis pyrifera*, mejor conocida como el "sargazo gigante".

Otra especie de gran importancia ecológica que se está viendo amenazada por *Sargassum muticum* es el pasto marino *Zostera marina*. Estas dos especies habitan fondos arenosos o lodosos y generalmente se encuentran espacialmente separadas. Sin embargo, cuando las camas del pasto pierden espesura debido a la dinámica normal de la especie, *S. muticum* ocupa casi inmediatamente los espacios vacíos. Esto obviamente interfiere en la regeneración de la cama de pasto lo que permite sugerir que con el tiempo *S. muticum* va a reemplazar totalmente a *Zostera marina* (Hartog, 1997).

A nivel global las macroalgas no han sido objeto de atención real en lo que respecta a su conservación y, mientras en México la importancia de conservar la diversidad biológica de los ambientes terrestres ha sido reconocida, no está sucediendo lo mismo en el caso de los ambientes marinos. La prevención de la pérdida de la biodiversidad de la flora marina dependerá en gran parte de un manejo efectivo de la costa, para lo que se requiere un entendimiento de la biología de los organismos, tanto de

las especies nativas como de las invasoras, así como, de una coordinación entre las diversas agencias gubernamentales involucradas, quienes deberán lograr la integración de los objetivos del manejo costero (Walker y Kendrick, 1998).

Tratar de erradicar a *Sargassum muticum* de nuestras costas sería un error pues, como ya se mencionó, es una especie que ya está totalmente establecida y podemos tomar como ejemplo los fracasos que ya vivieron los europeos en este sentido (Critchley, *et al*, 1986; Ribera, 1995). Sin embargo, sí podemos limitar su nivel de éxito al crear un plan de manejo para su explotación comercial.

Si bien es cierto que el avance en su distribución geográfica sería difícil de controlar, también es cierto que el acto de cosechar tiene consecuencias en la tasa de regeneración del tamaño de las poblaciones. De tal forma, si se diseña una estrategia de cosecha adecuada se puede controlar el tamaño de las poblaciones que ya existen en la región y así, evitar su expansión espacial a un nivel puntual.

En este sentido, podemos decir que *S. muticum* representa un problema ambiental para la costa noroccidental del país y que una posible alternativa de solución sería utilizarla con fines industriales, de tal forma que se genere un beneficio económico al mismo tiempo que se controla su invasión. De acuerdo a Ang (1987) la cosecha del alga puede contribuir a una mayor mortalidad de la población, a una pérdida de biomasa y, consecuentemente, una reducción en la producción de gametos, lo cual puede tener un efecto sobre el número de reclutas en el año siguiente a la cosecha.

Resumiendo entonces podemos decir que aunque hacen falta estudios que cuantifiquen el impacto de *Sargassum muticum* en las costas de nuestro país, existen pruebas suficientes para poder asegurar que se ha provocado un desbalance ecológico del ecosistema marino, que su presencia afecta la biodiversidad de la flora marina en las zonas invadidas y, que esto se convierte en una amenaza para otras algas nativas con importancia ecológica y económica en la región.

1.2.3. Antecedentes del uso y extracción de la especie

La evaluación de la biomasa de los mantos de *Sargassum muticum*, es parte de la información que se requiere para gestionar la extracción de la macroalga y son muy contados los estudios que se han hecho al respecto. Por ejemplo, en 1993 se realizó una evaluación de la biomasa media de los mantos de *Sargassum* spp. en la costa oeste de Bahía Concepción, B.C.S; el valor medio de la biomasa fue de 3.42 kg/m² y la cosecha total calculada fue de 7,250 tons (Casas, *et al.*, 1993). Lo más demandante de este tipo de estudios es que se tienen que realizar de manera específica para cada localidad.

Aquí en la Península los mantos de *S. muticum* no son de hectareas como se han reportado en Europa (Critchley, *et al.*, 1986). Las poblaciones se agrupan en áreas evaluadas en menos de una hectárea (Espinoza, 1990), sin embargo, es importante considerar la factibilidad de su explotación comercial en cualquiera de las ramas industriales que pueden surgir del uso del alga como materia prima. Son varios y muy interesantes los usos que se le puede dar al alga seca o a sus extractos, entre ellos podemos mencionar la extracción del ácido algínico.

El ácido algínico es el polisacárido principal en las algas pardas y es extraído, generalmente como alginato de sodio para su uso industrial. Es usado como emulsificador, espesante y gelificante en diversas industrias, principalmente en la alimenticia y en la farmacéutica. Hablaremos más a detalle de este ficocoloide en el capítulo cinco.

La importancia del uso de los alginatos en la industria alimenticia y farmacéutica, entre otras, está muy bien documentada (Chapman, 1970). Un ejemplo de la factibilidad de convertir a *Sargassum muticum* en un recurso aprovechado para suplir el mercado de los alginatos se encuentra en la India; se reporta que en la India se producen anualmente entre 360 y 540 toneladas de alginato a partir de una cosecha de 3600-5400 toneladas/año de alginofitas (*Sargassum* y *Turbinaria*); y durante la producción se practican técnicas

que remueven la coloración café que es característica del género *Sargassum* y que disminuye la calidad del producto (Kaladharan y Kaliaperumal, 1999).

Por otro lado, aunque actualmente en Filipinas no existe una producción local de alginatos, en los últimos años se ha considerado la posibilidad de extraerlos de *Sargassum* spp. como alternativa a la importación de este producto terminado. Dado que es un recurso abundante en la región, actualmente se cosecha para exportarlo a Japón y para darlo como alimento a los animales (Ang, 1984).

En la región de Filipinas se realizó un estudio en el que se analizó el rendimiento de alginato de varias especies de *Sargassum*; y considerando que la extracción comercial sería a gran escala, se utilizó un método de cosecha que fuera factible y económico sin hacer una diferenciación de las especies de *Sargassum* presentes en la zona cuando se realizó la colecta (Ang, 1984). En el mismo estudio, hubo una correlación positiva entre los patrones de crecimiento y los porcentajes de rendimiento de alginato en *Sargassum* spp. El rendimiento fue mayor en las plantas que ya habían alcanzado su máximo crecimiento, disminuyó un poco en la época reproductiva y aun más cuando se comenzaron a perder las frondas anuales. Ang (1984) opina que esta relación puede ser común entre todas las especies del género *Sargassum*.

En 1984 para individuos de *Sargassum muticum* de las costas de Wight en Inglaterra se reportó que el rendimiento de alginatos no se ve afectado significativamente por el ciclo estacional, sin embargo, exhibe su pico máximo durante los meses de junio y julio, tiempo asociado a la fase reproductiva (Gorham y Lewey, 1984).

En otro estudio reportado en 1999 se monitorearon cuatro especies de *Sargassum* en la Isla Negros de Filipinas (*S. cristaefolium*, *S. polycystum*, *S. ilicifolium* y *S. feldmannii*) y las cuatro resultaron con diferentes patrones de zonación, fertilidad y, épocas de crecimiento y biomasa. Por otro lado, también se cuantificó la producción y calidad del alginato para las cuatro especies, en relación con la estación del año (Calumpong, *et al*, 1999).

Dos de las especies en el estudio de Calumpong (1999), *S. ilicifolium* y *S. feldmannii*, mostraron tener una mayor producción y calidad al hacer la extracción del alginato, el cual era casi blanco gracias a un contenido fenólico bajo. Por otro lado, mientras algunas especies mostraron cambios en la viscosidad y en el rendimiento durante el ciclo estacional, otras no se vieron afectadas por este factor temporal.

La producción y viscosidad del alginato es particular de cada especie de *Sargassum*, sin embargo, también puede ser afectada por factores químicos y físicos específicos del área. Para Calumpong (1999) la cosecha del alga debe regularse para evitar la sobre-explotación del recurso y en su opinión el mejor momento es inmediatamente después de la reproducción y antes de que el tallo esté senil. Además marca como importante dejar el órgano de fijación y unos cuantos centímetros del estipe para permitir la regeneración del individuo.

En 1984 se consideró la factibilidad de cultivar a *Sargassum muticum* para su uso como productor de alginatos y de metano; los individuos que se usaron en el estudio fueron de California, E.U. y en los resultados se encontró que había una pequeña caída en el rendimiento de ácido algínico a lo largo del ciclo estacional (Gellenbeck y Chapman, 1984).

En 1982 se desarrolló un método nuevo y más económico para la extracción comercial de alginatos adecuado a la región de Baja California (Casas-Valdez, 1982). En este estudio se evaluaron varias especies de *Sargassum* y sus rendimientos fluctuaron entre 15 y 27%, mientras *Macrocystis pyrifera* tiene un rendimiento de entre 27 y 39%, por lo que la autora propone a las especies de *Sargassum* como complementarias en la extracción comercial del polisacárido.

En Puerto Rico se realizó un estudio sobre las variaciones estacionales y de distribución anatómica del ácido algínico en *Sargassum* spp. Los autores consideran que aunque el rendimiento de estas especies no es tan alto como en otras, mientras estos

puedan ser extraídos a una pequeña escala comercial, pueden ser suficientes para suplir la demanda local, además de ser una fuente de empleo (Aponte, *et al.*, 1983). En mi opinión, otra ventaja es que se diversificaría el sector pesquero disminuyendo así la presión sobre otros recursos.

Aponte (1983) encontró una relación entre la etapa reproductiva y el contenido de ácido algínico, los niveles máximos coincidieron con el pico de su fase reproductiva. También se propuso que la función biológica del alginato es la prevención de una pérdida excesiva de agua en la planta y la provisión de la flexibilidad necesaria para habitar el ambiente intermareal. Estas propuestas de Aponte (1983), a mi parecer, son importantes porque nos permiten sugerir que, dadas las características de reproducción de la especie en Baja California (los individuos se reproducen durante todo el año) y a su adaptación a ambientes más expuestos al oleaje, los rendimientos de los alginatos en los individuos de la región serán más altos.

Casas-Valdez (1985) hizo una cuantificación y caracterización parcial de alginatos en algunas especies de faeofitas de las costas de México. Ella reportó estadísticas sobre los ingresos que entran a México por la exportación de *Macrocystis pyrifera* como materia prima productora de alginato y sobre los egresos debidos a la importación de alginato como producto terminado, demostrando que en ese tiempo existía dentro del ramo un déficit en la balanza económica del país.

Actualmente el gobierno de México, apoyado por la FAO, mantiene funcionando una planta piloto productora de alginatos en el CICIMAR de la Paz, B.C.S. Lo más interesante es que la obtención del producto (ALGIMAR) se hace a partir de plantas de *Sargassum*, entre otras especies.

Por otro lado, además del uso industrial de los alginatos se han descubierto muchos otros beneficios potenciales en las especies de *Sargassum*, desafortunadamente estos todavía están sujetos a investigación, por ejemplo, el caso de un estudio realizado por Nakamura *et al* (1994) en el que se encontró que la macroalga *Sargassum muticum*,

junto con otros ocho géneros, tiene un efecto inhibitor del crecimiento del VIH (virus de inmunodeficiencia adquirida) *in vitro*.

Otro uso con valor comercial que podemos encontrar en *Sargassum muticum*, cuyo efecto está más ampliamente estudiado, es el que se refiere a la capacidad de sus fitoesteroles o fracciones esteroidales para sustituir a los fármacos hipocolesterolémicos. En el caso de este género el fitoesterol se denomina sargasterol y tiene la capacidad de inhibir a la enzima productora del colesterol en los animales y en los seres humanos, disminuyendo su nivel en el plasma sanguíneo; González (1990) aisló el sargasterol de *Sargassum muticum* y determinó su actividad como agente hipocolesterolémico en el plasma sanguíneo de conejos. En este caso lo único que se necesita determinar es cual es la mejor época del año para obtener dichas fracciones esteroidales.

En el capítulo cuatro se hablará en más detalle sobre la explotación y el uso de las macroalgas marinas a nivel mundial y nacional. Además se tocará el tema de los beneficios potenciales (biológicos y económicos) que existen en la explotación y uso de *Sargassum muticum* como recurso pesquero en la costa noroccidental de nuestro país.

Tabla 1.2.1. Antecedentes de *Sargassum* spp.

Lugar	Año	Características de la colonización	Epoca de reproducción	Talla que alcanzan los individuos	Biomasa reportada	Rendimiento de sus alginatos
Bahía Concepción, B.C.S. - <i>Sargassum</i> spp.- (Casas y Nuñez, 1997)	1997			La talla máxima y la biomasa reportada presentaron un patrón similar; el valor promedio máximo se encontró a finales de la primavera (186.6 cm), se redujo en verano (78.9 cm), en otoño no se reportó, en invierno aumentó un poco (4.8 cm) hasta la siguiente primavera (86.8 cm).	Se detectó un ciclo de producción de biomasa anual: el valor máximo se registró a finales de primavera (4.2 kg/m ²), disminuyó considerablemente en verano (0.4 kg/m ²), prácticamente desapareció en otoño y se incrementó gradualmente en invierno (0.02 kg/m ²) hasta principios de la siguiente primavera (1.3 kg/m ²)	

<p>Bahía Concepción, B.C.S. - <i>Sargassum</i> spp.- (Casas, <i>et al.</i>, 1993)</p>	<p>1993</p>				<p>La biomasa media calculada fue de 3.42 kg/m² y, la cosecha total calculada fue de 7,250 toneladas con un intervalo de confianza de 95%.</p>	
<p>Laguna de Venecia -<i>Sargassum muticum</i>- (D. Curiel <i>et al.</i>, 1998)</p>	<p>1992</p>	<p>Para 1996 sus poblaciones eran muy densas. Las algas se presentaron fijas a sustratos no preferenciales y flotando libres. Colonizan hasta 3 m de profundidad</p>	<p>La época reproductiva se da entre el invierno (cuando tienen una alta actividad biológica) y junio-julio (cuando pierden sus frondas para comenzar un nuevo ciclo de vida)</p>	<p>En primavera se tienen las máximas tallas con frondas de hasta 3m de altura.</p>	<p>Se reportaron 200 g/m² en invierno y hasta 1000 g/m² primavera.</p>	
<p>Punta Morro y Raul's en Baja California. -<i>Sargassum muticum</i>- (Aguilar y Machado, 1990)</p>	<p>1990</p>		<p>Máximo desarrollo reproductivo a finales de primavera y principios de verano (mayo y julio) para ambos sitios. Los valores de máximo desarrollo reproductivo no coinciden con las máximas temperaturas.</p>			

Bahía de La Paz, B.C.S. - <i>Sargassum</i> spp.- (Hernández-Carmona, <i>et al.</i> , 1990)	1990				Los valores de biomasa variaron entre los 2.3 y 16.6 kg/m ² a lo largo de la bahía. Se estimó una cosecha total de 18,901 tons, con un intervalo de confianza del 95%.	
Filipinas - <i>Sargassum muticum</i> - (P.O. Ang, Jr., 1984)	1984		La época reproductiva se da después de alcanzar su máximo crecimiento (septiembre). El mayor número de plantas fértiles se encontraron en Noviembre, después comenzaron a perder sus frondas.	Su crecimiento se da principalmente de Junio a Agosto. Su talla máxima la alcanza en Septiembre, 97.71 ± 28.44 cm		Septiembre: 23.0% Octubre: 21.96% Noviembre: 21.26% Marzo: 10.44%
California, E.U.A. - <i>Sargassum muticum</i> - (Nicholson, 1981)	1981	El mayor número de plantas pequeñas se encontraron entre los 0 y 2.9 m de profundidad, mientras que la mayoría de tamaño medio y grande se encontraron entre los 3 y 10 m de profundidad.	Durante todo el año.	Tasas de crecimiento de entre 0.13 y 2.58 cm/día.	139 a 554 g/m ²	

2.1. Introducción

Son cuatro los puntos que se analizan en este capítulo por ser los que conforman el marco teórico dentro del que se desarrolla la presente investigación:

- La biología de *Sargassum muticum*.
- Las consecuencias de la introducción de especies exóticas.
- La necesidad de crear una estrategia de manejo para *Sargassum muticum*.
- El comercio exterior de los recursos algales y sus productos, en México.

2.2. Biología de *Sargassum muticum*

División: Phaeophyta

Tradicionalmente se clasificaba a esta división en tres clases dependiendo de su historia de vida, su construcción y su patrón de crecimiento. Sin embargo, estudios recientes discontinuaron la importancia de estos criterios y la clasificación por clases se abandonó (Dawes, 1981).

Orden: Fucales

Pertenece a una clase distinta por las características de su historia de vida.

Familia: Sargassaceae

Género: *Sargassum*

Especie: *muticum*

Sargassum muticum (Yendo) Fensholt es un alga que pertenece a la familia Sargacea, del orden de las Fucales y cuya distinción más significativa es la completa ausencia de alternancia de generaciones, es decir las plantas son diploides (De Wreed, 1978).

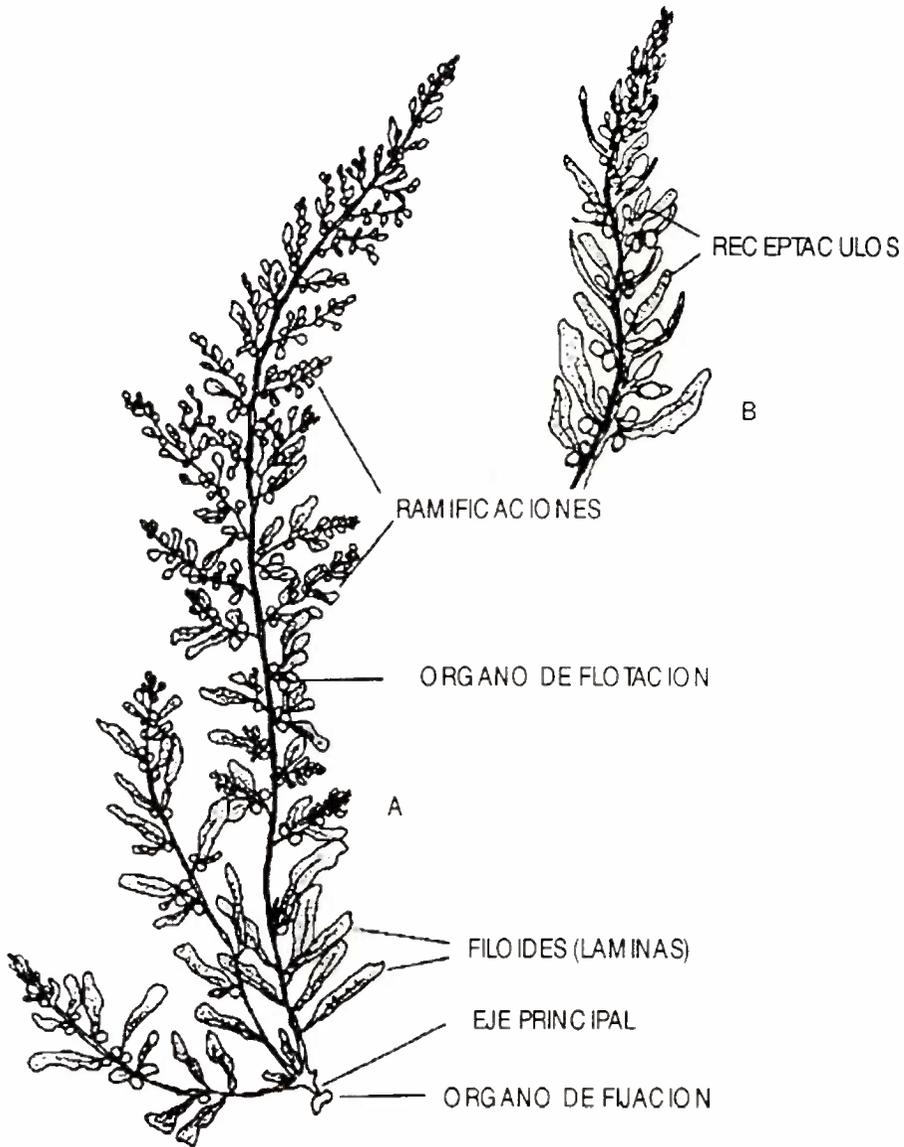
En cuanto a su fisonomía, *Sargassum muticum* es un alga de talla mediana con tallo muy ramificado de color pardo (amarillento), sus ramas principales aparecen desde los primeros 5 cm de la planta hasta formar un tallo intrincado y espeso. En la parte basal del tallo sus hojas tienen forma linear lanceolada y son dentadas hasta con 10 cm de largo, mientras en la parte superior del estipe las hojas son más angostas, por lo general con menos de 4 mm de largo y con márgenes lisos o dentados.

Su órgano de fijación es de forma discoide, sus filoides (hojas) son de forma lanceolada con las orillas dentadas y aparecen desde la parte basal (aproximadamente a los 5 cm de altura de la planta) repetidamente y con ramificaciones alternadas hasta llegar a una forma intrincada, es decir, un talo arbustoso. (Figura 2.2.1)

Como ya mencioné, *Sargassum muticum* es una planta monoica y sus órganos reproductivos nacen en apéndices especiales llamados receptáculos, los cuales tienen apariencia de estar abultados. Estos abultamientos son los conceptáculos, en donde se hayan situados los órganos sexuales masculinos (anteridos) y femeninos (oogonios).

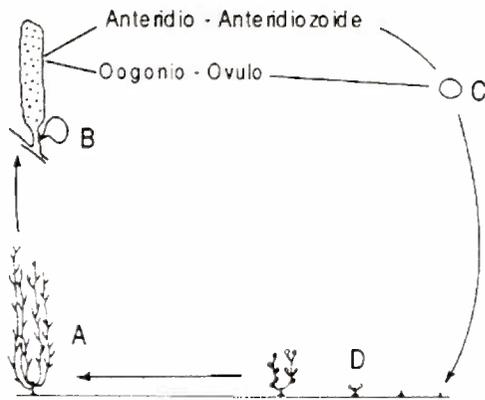
Sargassum muticum muestra una historia de vida típica del orden de las Fucales y familia Fucaceae (Phaeophyta). El ciclo de vida característico es del tipo haplobióntico con meiosis gamética, en el cual la única planta de vida libre (A) posee los órganos reproductivos masculinos y femeninos encerrados en cavidades fértiles –los conceptáculos- desarrollados sobre los receptáculos (B). La planta gametofita es diploide, la meiosis ocurre durante la gametogénesis y las gametas haploides –de la misma planta- al fusionarse forman un cigoto diploide (C) que dará lugar a un nuevo individuo (D), (Aguilar, 1989). Ver el dibujo del ciclo de vida en la Figura 2.2.2.

Figura 2.2.1. Dibujo de la anatomía y morfología de *Sargassum muticum*.



Tomado de: Aguilar y Machado, 1990.

Figura 2.2.2. Dibujo del ciclo de vida de *Sargassum muticum*.



Tomado de: Aguilar y Machado, 1990

Al comparar estudios se observa que el período reproductivo varía de acuerdo a la localidad y la temperatura (Critchley, 1984), siguiendo un patrón estacional (Nicholson *et al*, 1981)

Los organos que les permiten a las algas mantenerse a flote son los pneumatocistos, estructuras pequeñas de forma redonda que en esta especie son más prominentes que en otras algas de la misma familia (González, 1990). En *S. muticum* los pneumatocistos nacen en racimos o sencillos en el eje axilar de los filoides, con textura lisa y de forma esférica. Su gran capacidad de flotabilidad le permite a sus frondas recorrer largas distancias a la deriva Critchley, *et al*, 1983).

De acuerdo con los estudios de laboratorio y campo realizados por Critchley (1983), se ha demostrado que la forma de los filoides y pneumatocistos de *Sargassum muticum* varían estacionalmente, al parecer debido al efecto combinado de temperatura e intensidad de la luz. De la misma manera se han observado una gran variedad de formas de pneumatocistos a lo largo de la costa occidental de Baja California (Aguilar, 1989)

Una característica importante es que *Sargassum muticum* es un alga marina con tallo perene o annual (algunos autores lo reportan como pseudoperene porque sólo el organo de fijación permanece por varios años) que normalmente llega a medir 2 m de altura pero en California (en los Estados Unidos) alcanza los 10 m.

Las especies generalmente forman densas poblaciones desde el intermareal inferior al submareal en ambientes tranquilos, sin embargo, en su rango de distribución a lo largo de la costa noroccidental del pacífico americano hay varios reportes de su presencia en ambientes expuestos a alta energía de oleaje.

En el caso de de *S. muticum* la distribución interna poblacional, es decir, la manera en que los individuos se distribuyen en el espacio, se da con un patrón conocido

como de contagio. Esta distribución es la más común en la naturaleza y se caracteriza porque los individuos u otros componentes se distribuyen irregularmente y al azar.

Las algas existen como individuos, pero también viven como parte de una comunidad junto a otras algas y animales. Sus poblaciones variarán dependiendo de su hábitat. Éste está determinado por las características ambientales y fisicoquímicas del lugar, y las especies de animales y plantas que encontramos son particulares de cada uno. Por ejemplo, una playa rocosa con oleaje constante y fuerte, nos va a determinar un hábitat diferente al que encontraríamos en una laguna costera con fondo arenoso y protegida de la acción directa del oleaje oceánico, además, por otra parte, si comparáramos dos playas rocosas de diferentes latitudes, observaríamos que los cambios en la temperatura del agua provocan la formación de dos comunidades diferentes. El oleaje (característica física) y la temperatura (característica química), son dos de las muchas variables determinantes. Estar concientes de todo esto es de gran importancia en cualquier pesquería, pues la especie que nos interesa la vamos a encontrar en un hábitat específico y la facilidad de extracción va a tener mucho que ver con sus características. Además, en una comunidad existen interacciones entre sus miembros y éstas se deben considerar si no queremos dañar a las diferentes poblaciones que la componen.

Los hábitats en donde encontramos algas son muy variados, pero los más importantes, económicamente hablando son: la zona intermareal rocosa, la intermareal arenosa en lagunas costeras y los bosques de sargazo (*Macrocystis pyrifera*) en la zona sublitoral. La intermareal se refiere a aquella que queda descubierta en marea baja; y la sublitoral comienza donde la profundidad del agua es de 50 metros hasta donde la pendiente cambia abruptamente, esta zona nunca queda al descubierto.

La zona intermareal, también llamada eulitoral, presenta una ventaja muy importante: mayor facilidad en la extracción del recurso y consecuentemente los costos del proceso son menores. Es en esta zona en donde podemos encontrar a *Sargassum muticum*.

Aún cuando en nuestro país las algas marinas están siendo aprovechadas, el campo de acción en esta pesquería es todavía muy amplio, no sólo en la extracción y venta como materia prima, sino también en la transformación e industrialización de productos que puedan venderse a nivel nacional e internacional. Es por esto, que podemos clasificar como potencial al recurso algal que representa *Sargassum muticum*.

Las razones por las que la explotación de un recurso no se lleva a cabo a su nivel óptimo pueden ser de carácter tecnológico, económico o cultural.

2.3. Introducción de especies exóticas

Mientras las especies exóticas se dispersan de una región a otra del planeta, homogenizando millones de años de variedad intrincada, desafían nuestra habilidad para “valorar” esa diversidad y para usarla sabiamente. Para poder enfrentar el impacto de la contaminación biológica, no es suficiente el tratar de controlar la introducción de especies exóticas sino que tenemos que encontrar la manera de valorar a las especies nativas.

Competencia ecológica.

La palabra competencia denota una “lucha por la misma cosa”. A nivel ecológico, la competencia es importante cuando dos organismos luchan por algún recurso que no está en adecuado suministro para ambos. Por ejemplo, en el caso de las macroalgas, estas compiten entre ellas por espacio, luz y nutrientes.

A nivel de población, esto significa que la densidad o la tasa de flujo energético de la población, será reducida o constantemente verificada por la acción de la competencia. Existe otro tipo de interacción conocida como “inhibición mutua”, la cual

tiene el mismo resultado, pero se presenta cuando dos organismos interfieren entre sí mientras luchan por algún recurso que no necesariamente es escaso.

Muchos ecólogos prefieren no incluir tales inhibiciones mutuas directas bajo el encabezado de competencia. No obstante, cuando está interesado en el resultado de las interacciones en términos de la comunidad, quizá esté justificado que se agrupen todas las interacciones recíprocas negativas bajo el encabezado de competencia.

La competencia interespecífica, que es el caso que nos interesa aquí, se torna importante cuando existen dos o más especies estrechamente relacionadas, adaptadas al mismo nicho o a uno similar. Si la competencia es rigurosa, una de las especies puede ser eliminada por completo o forzada hacia otro nicho u otra región geográfica. O bien, las especies involucradas pueden ser capaces de vivir juntas a densidades reducidas compartiendo los recursos en alguna manera de equilibrio.

La eliminación de una especie por otra como resultado de la competencia interespecífica ha llegado a conocerse como el **principio de exclusión competitiva** o principio de Gause, en honor del investigador que demostró dicha exclusión en cultivos de protozoarios en la década de los treinta.

El caso de la competencia que *Sargassum muticum* representa para las especies nativas de las regiones geográficas que esta macroalga ha invadido, es un claro ejemplo de este principio de exclusión competitiva. Los límites entre las especies muchas veces están dados por los factores físicos que se presentan en un gradiente natural. Una manera de probar la hipótesis de que dos especies relacionadas se reemplazan en un gradiente natural por causa del factor de competencia interespecífica, sería quitando una especie y observando si la especie adyacente invade el área desalojada.

Sin embargo, gracias a estudios como los realizados por el investigador Connell (1961) se sabe que en el gradiente natural la regulación biológica, incluyendo la competencia interespecífica, se vuelve importante en las partes media e inferior del

gradiente. Es decir, tomando el ejemplo del gradiente natural que representa la zona intermareal, los organismos que se encuentran en la parte superior de la zona pueden invadir el espacio de los de más abajo cuando estos últimos son removidos, pero los de abajo no suelen invadir la zona superior del gradiente aún cuando se remueven los organismos de esta zona.

Esto se explica porque generalmente las condiciones extremas de la parte superior del gradiente sólo son soportadas por una especie y con relativamente pocos individuos. Este modelo puede ser considerado para aplicarse a gradientes más amplios, tales como uno del ártico al trópico, o uno altitudinal de superior a inferior.

Además de las evidencias antes mencionadas, también se han hecho otras observaciones que permiten hacer las siguientes generalizaciones:

- Organismos estrechamente relacionados con frecuencia no se hayan en el mismo lugar; y si están presentes, estudios detallados señalan que aquellos utilizan distintas fuentes de energía, o son activos en diferentes horas del día, u ocupan un nicho diferente.
- Donde un gran número de especies relacionadas está presente en una región, el nicho de cada una es frecuentemente más estrecho que cuando sólo hay pocas especies.
- Especies relacionadas a menudo se reemplazan unas a otras en un gradiente.

En conclusión se puede decir que la competencia junto con otras interacciones entre las poblaciones, son mecanismos que promueven la flexibilidad y cierto nivel de diversidad en la comunidad como un todo. Pero, ¿que pasa cuando, en una cierta región, la competencia interespecífica no es un proceso natural sino uno que se da como consecuencia de la introducción de una especie ajena a esta región?

Invasión de especies exóticas

Liberadas de las enfermedades, depredadores y otros factores que las mantienen controladas en sus hábitats naturales, las especies exóticas pueden causar grandes estragos ecológicos. Mientras se dispersan, van desplazando a un mayor número de especies raras con rangos más limitados. Cerca del 30 por ciento de las criaturas que están en la Lista Oficial de Especies Amenazadas y en Peligro de Extinción en los Estados Unidos, están ahí gracias a las exóticas (Bright, 1995).

Claro está que la migración de especies a nuevos hábitats es un fenómeno natural, pero la interferencia humana ha amplificado considerablemente la tasa en la que se da este proceso de manera natural. En Hawaii, por ejemplo, 18 especies de insectos se introducen anualmente lo que significa más un millón de veces la tasa natural de invasión para este grupo de organismos.

Como cualquier otra forma de degradación ambiental, la invasión de especies exóticas tiene un precio. Y aunque los costos totales de un disturbio de este tipo son imposibles de calcular, se pueden hacer estimaciones. Por ejemplo, el ostión zebra (*Dreissena polymorpha*) que se introdujo al Norte América, puede aumentar los costos de la producción de electricidad en los Estados Unidos porque se incrusta en las tuberías y en cualquier superficie disponible en las plantas de producción. El costo por rediseño de las plantas es de \$800 millones de dólares, además del costo anual de \$60 millones para la limpieza (Bright, 1995).

Algunas especies exóticas inclusive ponen en riesgo la vida de los humanos, como el caso del mosquito tigre asiático (*Aedes albopictus*) quien es portador de enfermedades como dengue, fiebre amarilla y encefalitis. Sin embargo, no todas aparecen como monstruos, son pocos los casos de las que pueden arreglarselas para sobrevivir en

su nuevo hogar y, muchos ecologistas opinan que, muchas de las que lo logran no causan un daño que sea medible.

Sin embargo, en el presente no existe manera de identificar cuales son las que verdaderamente causaran un impacto negativo hasta que el daño está hecho. Parte de la razón de esto es que las especies exóticas hacen daño de diversas formas; algunas veces causan un tipo de "efecto domino ecológico". Por ejemplo, el ostión zebra disminuye las poblaciones de plancton forzando un cambio en la base de la cadena alimenticia. Esta disminución de alimento afecta a los peces que pertenecen al siguiente eslabón de la cadena e incrementa el alimento para los animales detritívoros, como el cangrejo y los gusanos marinos.

La cadena alimenticia no es el único proceso ecológico que puede verse afectado en un caso de este tipo. Algunas veces los intrusos simplemente se comen a los nativos, otras veces compiten por recursos esenciales, o algunas veces traen consigo enfermedades o parásitos. Pero parece ser que el efecto más peligroso es el que se da cuando las especies exóticas convergen con las nativas y se cruzan entre sí, dañando la carga genética de la población y consecuentemente erosionando la diversidad genética de la especie.

Aún cuando el daño que causa la introducción de especies exóticas está bien documentado, la clave de su éxito sigue siendo un misterio. A la fecha el resultado de los estudios que se han hecho sobre estas especies puede resumirse en tres puntos: es imposible predecir cuando una especie exótica va a establecerse, o que va a pasar después de que lo haga, o cuando lo va a hacer.

Entre los vectores responsables de la introducción de especies el más importante es el del comercio internacional. Por agua, tierra y aire las especies se transportan de un lugar a otro sin tener las consideraciones necesarias. Por otro lado, otros responsables de estas invasiones son los sectores económicos que dependen totalmente de la promoción de especies exóticas, como la agricultura y la acuicultura.

Por último, la biotecnología es una industria joven que ha traído más problemas en este sentido, una nueva dimensión de vectores se ha abierto con la creación de los organismos transgénicos (organismos con complementos genéticos que contienen DNA de otras especies con las que no podrían haberse cruzado de manera natural). Los organismos transgénicos pueden moverse a las poblaciones nativas con graves consecuencias al liberar genes extraños.

Una vez que una especie exótica se ha establecido es imposible removerla. Afortunadamente, no siempre es necesaria la completa erradicación de la especie, la mayoría de las veces es suficiente con “controlarla”. Y esto puede llevarse a cabo por medio físicos, químicos o con control biológico (introduciendo otras especies que la ataquen). De las tres opciones la primera es la que tiene menor riesgo de desequilibrar el ecosistema.

2.5. Justificación de la necesidad de administrar el recurso potencial: *Sargassum muticum*

Se incluye este tema en el marco teórico porque estamos interesados en la biodiversidad de los ambientes que *Sargassum muticum* ha invadido y, una de las principales causas que explican la pérdida de la biodiversidad es la introducción de especies exóticas.

Los recursos naturales renovables constituyen la base material del desarrollo de la sociedad mexicana, porque representan la fuente a partir de la cual se alimentan tanto los procesos de producción primarios –agricolas, pecuarios, forestales y pesqueros- como los industriales, procesos a través de los cuales la nación produce y reproduce las condiciones de su existencia social (Carabias y Toledo, 1981).

Cuando se decretó el proyecto de nación en la Constitución de 1917, los recursos naturales fueron considerados un bien patrimonial, estableciendo que la nación tiene el derecho original de propiedad y el derecho de regular su aprovechamiento (Art. 27 de la Constitución Política Mexicana, 1917).

Desafortunadamente el país carece de una política que en verdad marque las pautas adecuadas de apropiación de estos recursos. Ello se pone de manifiesto, entre otras cosas, en la incapacidad de producir la ciencia y la tecnología necesarias para la apropiación de los recursos –ya sea porque no se cuenta con la infraestructura necesaria para ello o porque por inercia se repiten modelos tecnológicos y pautas de investigación científica que no van acorde con la realidad ecológica, social y cultural del país-, en la falta de coordinación de las instituciones nacionales encargadas de controlar dicha apropiación y en la multiplicidad de leyes y reglamentos particulares, muchas veces contradictorias, que hacen referencia a estos recursos.

Actualmente existe suficiente información acerca de las principales causas que explican la pérdida de la biodiversidad y una de ellas es la que sigueo:

Causas	Ejemplos
Homogenización e introducción de especies exóticas	Alteración de hábitat por: monocultivos y plantaciones intensivas y extensivas; sustitución de especies nativas con exóticas ; eucaliptos y plagas.

Tomado de: Vega, E. 1997. La valuación económica de la biodiversidad en México. En: INE-SEMARNAP (eds). Economía Ambiental: Lecciones de América Latina. 113-121 pp.

Sin embargo, la información sobre el valor económico de estas pérdidas es insuficiente y fragmentada. La ausencia de esta valoración económica integral de la biodiversidad se debe a que en las decisiones de producción y consumo que toman los diferentes agentes económicos no se consideran los atributos biológicos ni las funciones ambientales de los ecosistemas.

Otra manera de explicar las cosas es haciendo notar que tal valuación de la biodiversidad se hace todos los días, sólo que otorgándole un valor nulo (o precio cero). Así, al no tener un costo se abre paso a un uso indiscriminado de la misma o a la sustitución por otros bienes o flujos económicos a los cuales sí se les reconoce un valor o precio positivo.

La valuación de la biodiversidad no es un fin en sí misma, es solamente un medio para poder conservarla. Representa un instrumento que permite diseñar incentivos (desincentivos) económicos para internalizar los costos ambientales de cada una de las decisiones de producción y consumo.

Hablando específicamente de la zona costera, los problemas administrativos que aquí se presentan se pueden atribuir a una falta de integración en la toma de decisiones en materia de economía y medio ambiente. Además se ha puesto de manifiesto que las actividades que se llevan a cabo lejos de la zona costera tienen importantes repercusiones sobre los fenómenos naturales que se dan en esta zona. Esto nos dice que cada vez es más necesario integrar la gestión de las zonas costeras con la de otros sectores relacionados, siempre y cuando las ventajas producidas sobrepasen los costos que esta suscita.

Por otro lado, la mayoría de las acciones, programas, proyectos y actividades de las instituciones responden a un diagnóstico imaginario de los problemas que van a abordar. Consecuentemente y a pesar de las buenas intenciones en sus planteamientos, los resultados son ineficaces y, en gran medida, contraproducentes al aplicarlos a la realidad compleja. Es por esto que se necesita generar información válida que pueda ser utilizada en la gestión de los recursos costeros.

El programa que hoy en día se desarrolla en el CICIMAR, en la Paz B.C.S., para la producción y venta de alginatos es un ejemplo real de la factibilidad de el trabajo integral entre las instituciones de gobierno (INP-SEMARNAP), los organismos internacionales (FAO) y, los centros académicos y de investigación (CICIMAR); para dar solución a problemas económico-ambientales.

2.5. Discusión sobre comercio internacional

El comercio entre países tiene por base la realización de ganancias mutuas, aunque se pueda objetar el reparto desigual de estas ganancias. Dentro del comercio, es cierto que un país puede lograr mejorar sus términos de intercambio a expensas de otro, sin embargo, mientras cada una de las partes obtenga alguna utilidad la argumentación en pro del comercio sigue siendo válida.

No obstante, los términos de intercambio de los países más pobres han tendido a empeorar; algunos estudios aportan pruebas de que desde la segunda guerra mundial la demanda internacional de productos procedentes de los países pobres ha tendido a aumentar, en proporción, mucho menos que la producción de los países desarrollados. Se probó también que las exportaciones entre los países desarrollados aumentaron y que las exportaciones entre los países pobres se minimizó; la explicación está en el bajo poder adquisitivo de la gente de esos países, lo que a su vez es reflejo de su baja productividad (Nurkse, 1960).

Con la excepción del petróleo y otros pocos minerales, no puede decirse que los productores primarios estén disfrutando de una expansión dinámica en la demanda de los productos que exportan. El continuo crecimiento económico de los países desarrollados no ha tenido un efecto en mejorar los términos de intercambio de los países productores de materias primas. Por ejemplo, parece ser que el aumento de las importaciones de Estados Unidos en los últimos años se ha debido a la mayor importación de artículos acabados o semiacabados, lo que significa que ha aumentado su comercio con otros países industrializados.

Las importaciones de materias primas, principalmente provenientes de las regiones subdesarrolladas, están lejos de haber recuperado su posición de antes de la segunda guerra mundial; es obvio que existió un cambio en el ambiente económico del

comercio internacional entre el siglo XIX y el XX. De esta manera, a falta de un movimiento ascendente en la demanda mundial de materias primas exportables, es necesaria una estructura de inversiones que se apoyen mutuamente en diferentes ramas de la producción para ampliar el mercado y contribuir a que se llene el vacío que hay en la economía interior de las regiones de bajos ingresos.

El adelanto aislado no es imposible, un programa solitario de inversión y aumento de la productividad en una sola industria tendrá repercusiones favorables en otras partes de la economía. Existe el argumento de que una nueva industria que produzca algo nuevo para el mercado interior tiene probabilidades de crear una mayor demanda de artículos importados porque puede necesitar algunas materias primas del exterior y, si los ingresos procedentes de la exportación no cambian, el resultado será un déficit en el comercio exterior. Todo esto es verdad, pero si la nueva industria vende sus productos en el mercado interior, el resto de la economía tendrá que reducir lo que gasta en productos importados. La creación de una nueva industria significa un cambio en la estructura de la economía.

Una vez que se ha pasado la fase de la "infancia" en la producción para el mercado interior, bien puede ser posible fomentar un comercio de exportación de artículos elaborados.

Se puede sugerir entonces que el desarrollo del mercado interior no tiene consecuencias negativas en el cambio exterior; es el gasto excesivo, aunado a la inflación, el que crea desequilibrios en la balanza de pagos.

Por último, es importante recordar que cuando un artículo se importa, es evidente que ya existe un mercado dentro del país., por lo tanto, se puede asegurar que si en México se promueve la creación de una industria de alginatos, se daría un cambio positivo en la estructura económica del país y el producto tendría un espacio potencial dentro del mercado interior con la posibilidad de poder ser exportado en el futuro.

3.1. Introducción

Como ya es sabido por todos, no existe una metodología científica única, como un camino o una serie de reglas, que nos lleve a obtener una representación exacta de la realidad. En general podemos afirmar que la investigación científica es: *sistemática* y *controlada*, con la presencia indispensable de una disciplina constante; *empírica*, basada en fenómenos observados de la realidad; y *crítica*, juzgando constantemente y de la manera más objetiva posible el fenómeno que se estudia.

Por otro lado, para investigar con éxito un problema dado, primero se deben formular preguntas claras e imponer limitaciones claras a dicho problema, debe haber concordancia lógica entre los objetivos, la estructura de la investigación (diseño), el análisis y la interpretación de los resultados. Sin embargo, otro punto que es muy importante considerar es el tiempo y los recursos disponibles para llevar a cabo la investigación.

En el presente trabajo, dadas la naturaleza de la investigación y las limitaciones de tiempo, no fue posible seguir el patrón clásico en el desarrollo de una investigación científica, tuvimos que limitarnos a la información que ya ha sido generada a través de los años y que no ha sido sintetizada para dar soluciones al problema que *Sargassum muticum* representa. Por lo tanto, a partir de dicha información se generaron ideas y el conocimiento necesario para alcanzar los objetivos planteados al principio de la investigación.

Nuestra investigación es *descriptiva*, pues su propósito es obtener información de tipo exploratorio con preguntas abiertas que parten de hipótesis descriptivas. También puede clasificarse como: *retrospectiva*, porque se basa en información captada en el pasado y que ha sido registrada en diversos medios; *longitudinal*, porque se miden las

mismas variables en varias ocasiones a lo largo de un período de tiempo, esto es, se lleva a cabo un seguimiento para comparar la evolución de los elementos representados por dichas variables; y es *observacional*, pues no se modifican los factores que intervienen en el fenómeno que se estudia, como se haría en un experimento, únicamente se efectúa una selección de elementos para su medición, lo que determina el diseño de la investigación.

Los resultados de esta investigación se pueden dividir en dos partes diferenciadas: la primera se refiere a la propuesta de una primera estrategia de cosecha para *Sargassum muticum* y la segunda se centra en el análisis de las consideraciones económicas que surgen de suponer su extracción y uso.

3.2. Propuesta de una primera estrategia de cosecha para *Sargassum muticum* en la costa noroccidental de Baja California

Después de que en el capítulo 1, como parte del relato de los antecedentes, se hizo una revisión bibliográfica para caracterizar el comportamiento de la especie en la región y describir la amenaza ambiental que esta representa; para cumplir con los objetivos de esta parte de la investigación se generaron elementos de descripción de la dinámica poblacional de una población de *Sargassum muticum* localizada en la zona de Punta Morro en la Bahía de Todos Santos, B.C. Esta descripción se hizo a partir de un análisis de los datos generados entre junio de 1992 y septiembre de 1993 por el Oc. Raul Aguilar (no publicados).

3.2.1. Descripción del área de estudio

En la Bahía de Todos Santos, B.C., existe una saliente denominada Punta Morro (32° 13' Norte y 116° 40' Oeste), la cual representa un área semiprotegida con sustrato rocoso y con una pendiente irregular en la que pueden encontrarse algunas pozas de marea. Es en esta zona donde se localiza nuestra área de estudio. Ver la Figura 3.2.1.1.

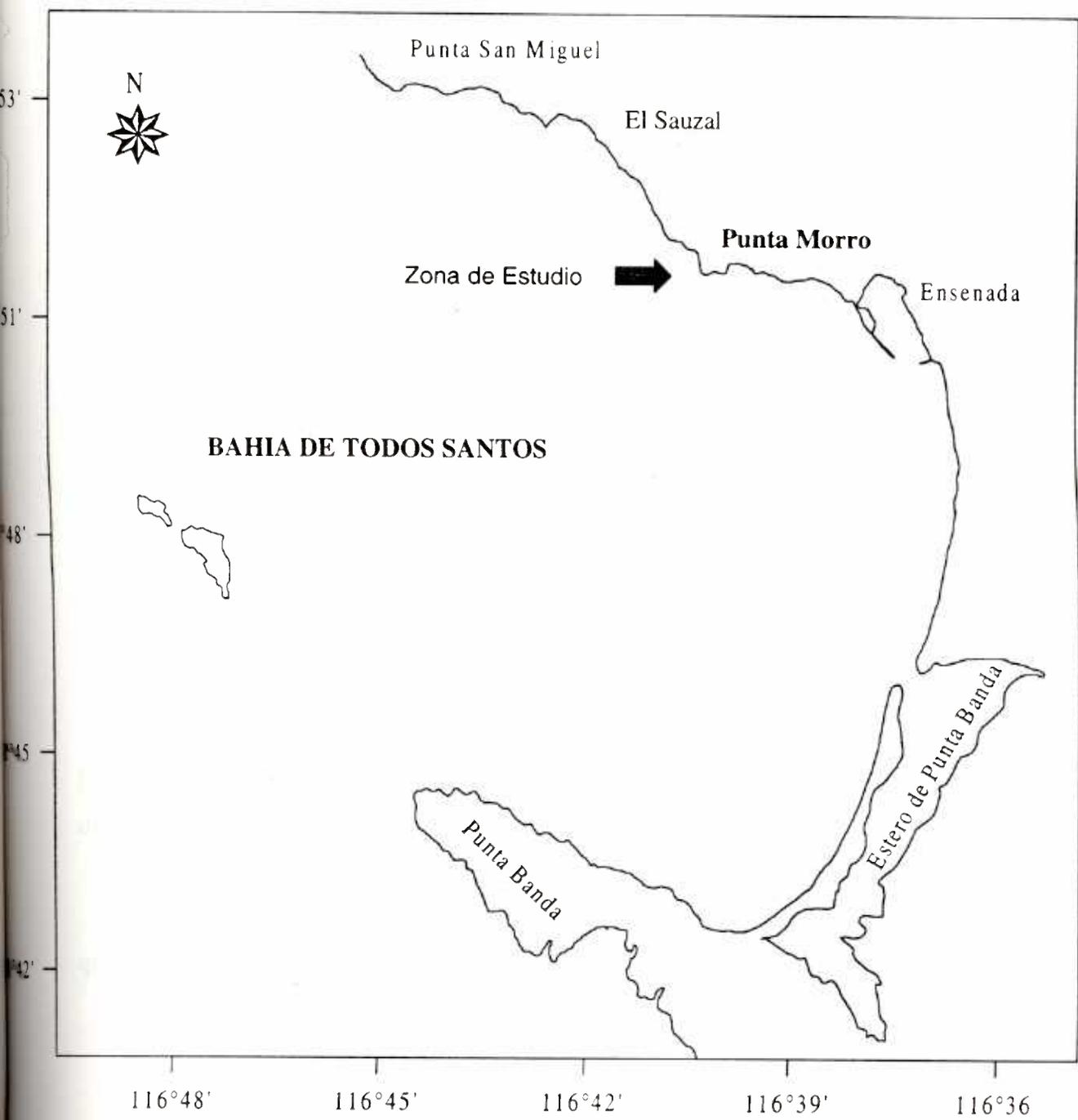


Figura 5.2.1. Mapa de la zona de estudio.

3.2.2. Método de muestreo

De junio de 1992 a septiembre de 1993 se marcaron un total de 190 ejemplares de *Sargassum muticum* en las pozas de la zona intemareal media de Punta Morro en la Bahía de Todos Santos. Las marcas se hicieron con una etiqueta plástica Dymo numerada, la cual se amarró en la parte basal cercana al disco de fijación por medio de un alambre de cobre.

Se realizaron 18 periodos de medición con un intervalo de 28 días, en promedio, para determinar la tasa de crecimiento estacional. En el primer día de cada período de medición se determinó la longitud total *in situ* inicial de las plantas. Las plantas recuperadas en cada período se volvían a medir anotando su longitud total (final).

Además de lo anterior, se determinó el porcentaje de plantas en estado reproductivo anotando la presencia/ausencia de receptáculos en cada planta y, finalmente, se describió el elenco de especies epífitas presentes en los talos.

La tasa de crecimiento se obtuvo dividiendo la diferencia de longitudes iniciales y finales de las plantas marcadas, esto para cada período de medición, entre el número de días transcurridos en cada período (Hunt, 1978).

El muestreo debe considerarse como uno "dirigido" y no aleatorio y las variables que se midieron se ilustran claramente en la figura 3.2.2.1

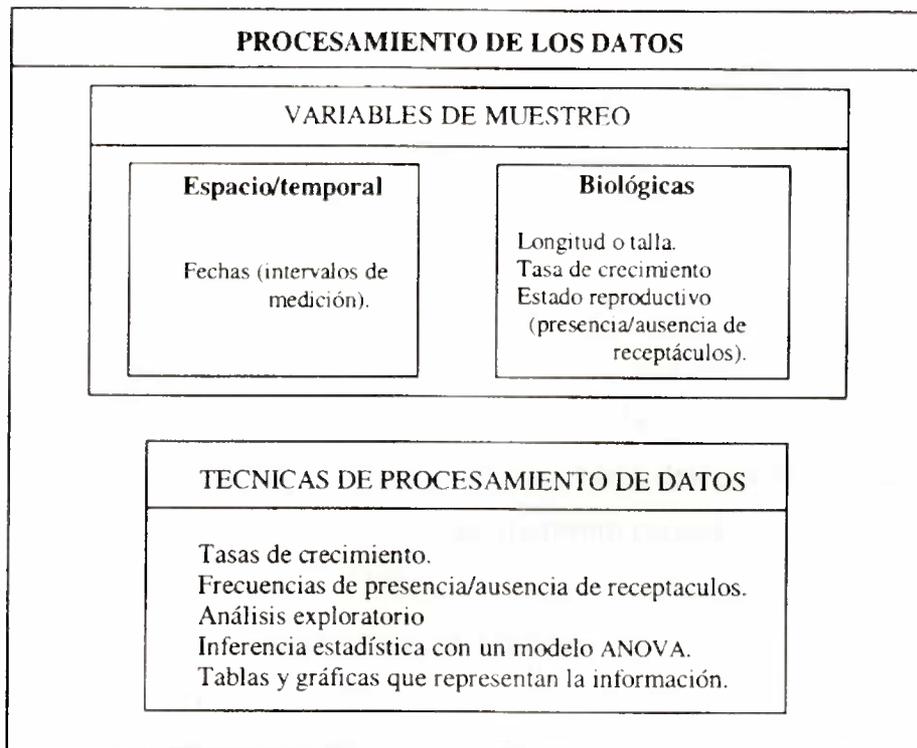


Figura 3.2.2.1 Esquema del procesamiento de los datos utilizados en la investigación.

3.2.3. Variables de muestreo

En el proceso de una investigación científica, la obtención y el análisis estadístico de datos es fundamental. Para caracterizar los elementos de la población que se está estudiando se utilizan las variables. Como ya se mencionó, en este caso tenemos variables con diferentes escalas de medición: dos son categóricas nominales (estado reproductivo y, los intervalos de medición o estaciones), y dos son numéricas continuas (longitud o talla y tasa de crecimiento).

3.2.4. Técnicas de procesamiento de los datos

Una vez que se tienen los datos captados, codificados y en una base de datos, el siguiente paso es el análisis de dicha información. En general, en estudios descriptivos y

en las etapas iniciales del análisis de estudios inferenciales, es fundamental la utilización de métodos descriptivos y gráficos para conocer las características de la información captada, lo que permite seleccionar y aplicar el o los métodos inferenciales más apropiados además de que permite detectar valores aberrantes o posibles errores en los datos recolectados.

De tal forma, los datos crudos fueron tratados estadísticamente, para lo cual se utilizaron los paquetes: Excell, Statistica y Jump para Windows. Se obtuvieron medidas de tendencia central (mediana) y de dispersión (cuartiles), después de comprobar, con una prueba Shapiro-Wilk, que no tenían un comportamiento normal.

Se hizo un análisis exploratorio de los datos con el fin de realizar una primera descripción del comportamiento de la especie a través de las diferentes estaciones del año. El análisis exploratorio consiste en una serie de gráficos analíticos que permiten estudiar las características de los datos con que se cuenta.

Por último, se realizó un análisis de varianza para un modelo unifactorial de efectos fijos, con el fin de comprobar que existe un efecto estacional sobre el crecimiento y la talla de los individuos de *Sargassum muticum*.

El factor a analizar es el tiempo y sus niveles o tratamientos son las estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno). Los efectos de las estaciones se representan por la variable aleatorias τ_j , donde j es el nivel o tratamiento j -ésimo. En este modelo los efectos de tratamiento se definen como desviaciones con respecto a la media general, por esta razón:

$$\sum_j^a \tau_j = 0$$

El modelo se representa como sigue:

$$y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

donde,

y_{ij} \Rightarrow la medición de la variable de interés y corresponde al elemento i -ésimo del nivel o tratamiento j -ésimo.

μ \Rightarrow el valor de la media general para todas las poblaciones representadas.

ε_{ij} \Rightarrow el error o variación aleatoria del elemento i -ésimo del nivel o tratamiento j -ésimo.

La manera de descubrir si existe una diferencia entre los tratamientos es probando la siguiente hipótesis nula:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

El modelo es el proceso inicial para determinar las diferencias entre las medias de las poblaciones estudiadas, el análisis permite una subdivisión de la variación total en componentes separados. Cada componente representa una fuente de variación, de tal forma que la importancia de cada una puede ser estudiada. El análisis de varianza es pues, el procedimiento adecuado para probar la igualdad en el nivel medio de a tratamientos.

El ANOVA fue desarrollado por Fisher en 1920 y sus funciones se describen así:

- 1) Constituye un modelo elegante y más rápido para el cálculo de la s^2 global. En una sola clasificación esta ventaja en rapidez es ínfima, pero en clasificaciones más complejas el análisis de varianza constituye el único método sencillo y confiable para determinar la varianza global apropiada de error s^2 .
- 2) Provee una nueva prueba, la prueba F . Esta es una prueba única para la hipótesis nula de que las medias poblacionales $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_n$, de los n tratamientos (clases), son idénticas. Esta prueba muchas veces es útil en una inspección preliminar de los resultados, y posee múltiples aplicaciones.

El análisis de varianza es únicamente el primer paso en el estudio de resultados. El paso siguiente consiste en examinar las medias de cada clase y la magnitud de las diferencias entre ellas. Lo que se busca es saber si las diferencias son significativas, a un

dado nivel de confianza y reportar las magnitudes de dichas diferencias, para ello se aplicó una prueba de Tukey-Kramer. Todo estos cálculos se pueden realizar fácilmente en el paquete Jump para Windows.

En nuestro caso se utilizó el 95% de confianza para probar la hipótesis de que las medias de la talla (y_i) y de la tasa de crecimiento (y_i) eran significativamente iguales para los cuatro tratamientos o estaciones. Nuestro interés, como ya se había mencionado, era probar que las estaciones tienen un efecto en estas variables. Con este fin se corrieron dos ANOVA, uno para la variable talla y otro para la tasa de crecimiento.

El modelo tiene como supuestos que deben cumplirse los siguientes:

- a) Normalidad de los residuales (no en los datos crudos)
- b) Homocedasticidad o igualdad de varianzas
- c) Independencia de las muestras

Para comprobar la normalidad de los residuales, estos se graficaron y se utilizó una prueba Shapiro-Wilk de normalidad.

En el caso de nuestros datos, la normalidad de los residuales no se cumplió, siguiendo el comportamiento no normal de los datos crudos, por lo que fue necesario utilizar pruebas no paramétricas en el análisis. Se escogió la prueba Kruskal-Wallis que es una no paramétrica y, no supone normalidad en los residuales ni homocedasticidad.

3.3. Análisis de las consideraciones económicas presentes en la propuesta de extracción y uso de *Sargassum muticum*.

Esta segunda parte de la investigación se puede dividir en dos secciones: la descripción del espacio potencial de mercado que tienen los productos de *Sargassum muticum* y, el análisis del comercio exterior en torno a los recursos macroalgales en México.

3.3.1. Descripción del espacio potencial de mercado para los productos de *Sargassum muticum*

Para la descripción del espacio potencial de mercado que tienen los productos de *Sargassum muticum* a nivel nacional e internacional, se hizo una búsqueda bibliográfica y hemerográfica sobre: la explotación y uso de las macroalgas a nivel mundial, la pesca y uso de las macroalgas en México, los ejemplos de explotación de la especie en mundo, las generalidades de los ficocolides y, el espacio potencial que tienen los alginatos (uno de los productos de la especie) en el mercado nacional e internacional.

3.3.2. Análisis del comercio exterior en torno a los recursos algales en México

Por otro último, a partir de datos generados por la SEMARNAP y el INEGI, se hicieron cálculos para demostrar que el comercio exterior en torno a la pesca e industrialización de macroalgas en México es deficitario.

Además, se analizó la viabilidad de que exista una política orientada a eliminar dicho déficit comercial con actividades como la que representa la industrialización de los productos de *Sargassum muticum*.

CAPITULO IV. Resultados y discusiones del análisis de datos

4.1. Introducción

En este capítulo, igual que en la metodología, divido el desarrollo de la investigación en dos secciones. Una corresponde a la propuesta de una primera estrategia de cosecha para las poblaciones de *Sargassum muticum* en la costa noroccidental de Baja California, México; y la otra, está dedicada al análisis de las consideraciones económicas que se encierran en la propuesta de extracción y uso de la especie, es decir, a la descripción del espacio potencial de mercado que tienen sus productos y al análisis del comercio exterior de los productos algales en México.

4.2. Propuesta de una primera estrategia de cosecha para *Sargassum muticum* en la costa noroccidental de Baja California

Los resultados del análisis que se desarrolla aquí nos llevaron a concluir que la mejor época para la extracción del recurso es a mediados de la primavera y a principios del verano, específicamente en los meses de mayo, junio y julio. Estos meses pertenecen al periodo de máximo desarrollo reproductivo y máximo crecimiento (tallas mayores); el mes de abril también es parte de este periodo pero se dejó libre de presión pesquera para dar espacio a la producción de reclutas.

En un estudio que realizó Abbott *et al.* (1980) en Columbia Británica, Canadá, la cosecha selectiva de *Sargassum muticum* durante la época de tallas máximas resultó ser una estrategia muy severa y resultó en la desaparición del recurso por un espacio de cuatro años porque *Rhodomela larix* ocupaba su espacio. Después se experimentó cosechando durante el mismo periodo de tiempo pero dejando parches para generar reclutas y el resultado fue distinto; la población se restableció y permaneció en el tiempo.

Sin embargo, una gran diferencia con el caso de Baja California es que aquí se presentan organismos en desarrollo reproductivo durante todo el año; no obstante, como parte de la estrategia se sugiere dejar el mes de abril libre de explotación para asegurar la reproducción de la especie. Ver la figura 4.2.1.1.

4.2.1. Elementos de descripción de la dinámica poblacional de *Sargassum muticum* en la costa noroccidental de Baja California

A continuación se presentan los resultados que se obtuvieron del análisis exploratorio e inferencial que se aplicó a los datos generados entre junio de 1992 y septiembre de 1993 por el Oc. Raul Aguilar (no publicados).

Cambios en el potencial reproductivo durante el ciclo estacional.

Los resultados que se obtuvieron en este trabajo se pueden comparar con otros que se han realizado cerca del área de estudio. Como ya se mencionó anteriormente, durante todo el año se encontraron individuos con capacidad reproductiva, pero la presencia de organismos con esta característica es mayor entre abril y agosto, con su máximo entre junio y julio (finales de primavera y principios del verano).

En un estudio realizado en la misma zona durante 1987 y 1988 se encontró el mismo resultado, el máximo reproductivo entre mayo y julio (Aguilar y Machado, 1990).

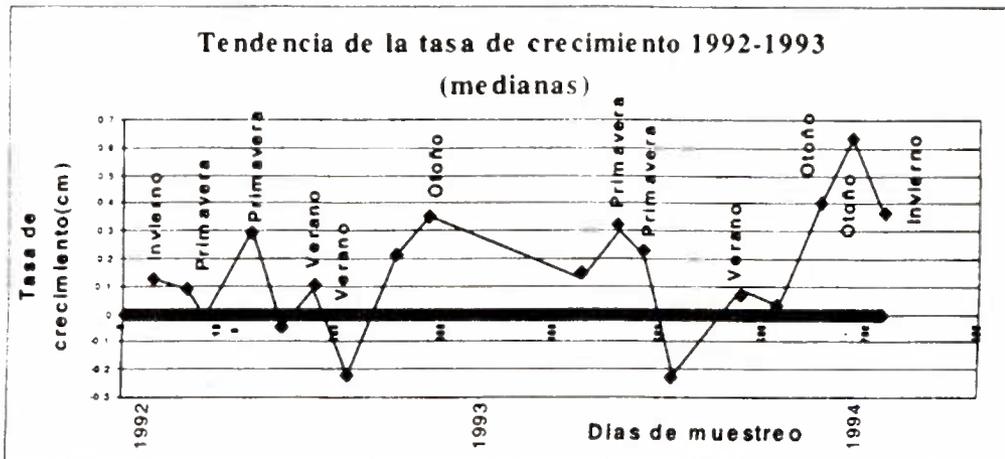


Figura 4.2.1.2. Comportamiento de la tasa de crecimiento en el tiempo.

En relación a la talla, los valores máximos se encuentran a mediados de la primavera y principios de verano (abril, mayo y principios de junio) y empieza a decrecer en julio para encontrar los valores mínimos a finales del verano y principios del otoño (entre agosto y octubre). A finales del otoño (noviembre) las tallas comienzan a aumentar otra vez. La tendencia que tiene la talla en el tiempo se puede observar en la figura 4.2.1.3.

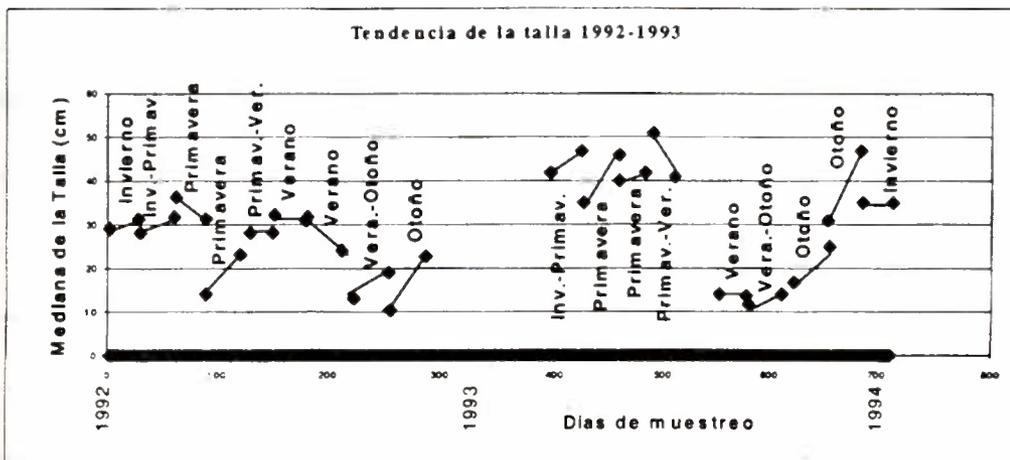


Figura 4.2.1.3. Comportamiento de la talla de los organismos en el tiempo.

En la figura 4.2.1.3 podemos observar la tendencia de la talla en el tiempo, pero también podemos ver representada la talla inicial y final de cada muestreo.

Los datos de las medianas que se obtuvieron para representar la tasa de crecimiento y la talla de los individuos medidos en cada muestreo, junto con las fechas de cada muestreo y el tamaño de muestra (n), se expresan en la tabla 4.2.1.1.

Como parte del análisis exploratorio, se escogieron los muestreos representativos de cada estación anual (primavera, verano, otoño e invierno) en ambos años. y se graficaron para poder saber si el comportamiento estacional de los datos es similar para ambos años (1992 y 1993). Los muestreos seleccionados se muestran en la tabla 4.2.1.2.

Se buscó que los períodos de tiempo que se compararían para cada estación representaran la misma sección de tiempo en ambos años. Desafortunadamente, debido a que existen huecos de información en los muestreos de ambos años, los casos del “verano” y del “invierno” no pudieron compararse tan directamente como se hubiera deseado. En las tablas 4.2.1.3 y 4.2.1.4 se muestran los datos representativos del comportamiento anual de la talla y la tasa de crecimiento.

Tabla 4.2.1.1. Datos de los muestreos.

Muestra	Talla final (mediana)	Tasa Crecimiento (mediana)	Estación	Fechas	Tamaño de Muestra (n)
1	32	0.125	Invierno	31/01/92- 27/02/92	15
2	32	0.101	invierno- primavera	28/02/92- 31/03/92	20
3	32	0.000	Primavera	01/04/92- 28/04/92	34
4	23	0.296	Primavera	29/04/92- 30/05/92	29
5	28	-0.047	Primavera-verano	09/06/92- 29/06/92	31
6	31	0.103	Verano	01/07/92- 29/07/92	28
7	24	-0.218	Verano	30/07/92- 31/08/92	27
8	19	0.212	Verano-otoño	10/09/92- 12/10/92	25
9	23	0.351	Otoño	13/10/92-	16

				13/1192	
10	47	0.148	invierno-primavera	04/03/93-30/03/93	7
11	46	0.323	Primavera	01/04/93-04/05/93	7
12	42	0.230	Primavera	05/05/93-28/05/93	13
13	41	-0.227	Primavera-verano	04/06/93-25/06/93	15
14	14	0.071	Verano	05/08/93-01/09/93	14
15	14	0.030	Otoño-invierno	02/09/93-04/10/93	13
16	31	0.406	Otoño	15/10/93-15/11/93	15
17	47	0.633	Otoño	17/11/93-16/12/93	11
18	35	0.366	Invierno	17/12/93-14/01/93	13

Tabla 4.2.1.2. Muestreos representativos del ciclo estacional.

ESTACIÓN ANUAL	1992	1993
Primavera	3 01/04/92 - 30/05/92	11 Y 12 01/04/93 - 28/05/93
Verano	6 Y 7 01/07/92 - 31/08/92	14 05/08/93 - 01/09/93
Otoño	9 13/10/92 - 13/11/92	16 15/10/93 - 15/11/93
Invierno	10 04/03/93 - 30/03/93	18 17/12/93 - 14/01/94

Tabla 4.2.1.3. Datos representativos del comportamiento anual de la talla (medianas)

	1992	1993
1.Primavera	23	44
2.Verano	43	13.5
3.Otoño	22.5	31
4.Invierno	47	35

Tabla 4.2.1.4. Comportamiento anual de la tasa de crecimiento (medianas).

	1992	1993
1. Primavera	0.15	0.275
2. Verano	-0.06	0.07
3. Otoño	0.35	0.41
4. Invierno	0.15	0.37

Para el caso del **verano** se comparó el principio del verano de 1992 con el final del verano de 1993, esto debido a que existe un hueco de información entre el 25 de junio de 1993 y el 5 de agosto de 1993, esto quiere decir que todo el mes de julio no está representado en el muestreo. Las diferencias entre estos dos períodos de tiempo se notan claramente al comparar las figuras 4.2.1.4 y 4.2.1.5. En la figura 4.2.1.5 ya se está representando el final del verano de 1993 y, por lo tanto, las tallas son menores que al principio del verano, como se observa en el caso de 1992.

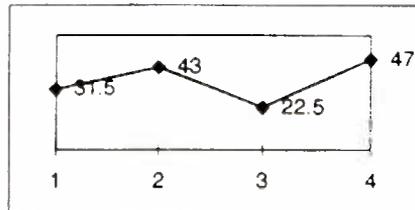


Figura 4.2.1.4. Tendencia de la talla en 1992

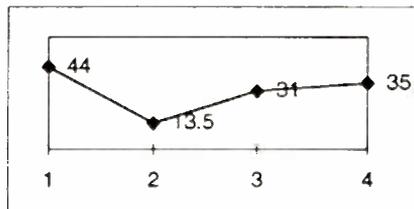


Figura 4.2.1.5. Tendencia de la talla en 1993

En el caso del **invierno**, en las figuras 4.2.1.4 y 4.2.1.5, podemos observar que el

de 1992 presenta tallas mayores que el de 1993, esto se explica porque, como se mencionó anteriormente, el invierno representado en 1992 es tardío por lo que se acerca más a los valores más altos de primavera. Mientras en 1993, el invierno es muy temprano y los individuos apenas están creciendo.

Por otro lado, la **primavera** de 1993 representa una primavera más tardía que la de 1992, por lo tanto los valores son más altos y representan una talla mayor en los individuos.

En el caso de las tasas de crecimiento también se pueden hacer algunas observaciones, para ello observemos las figuras 4.2.1.6 y 4.2.1.7.

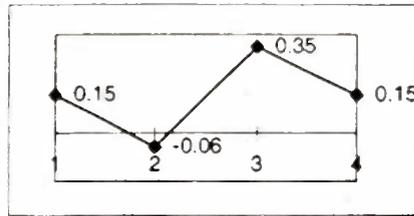


Figura 4.2.1.6. Tendencia de la tasa de crecimiento en 1992

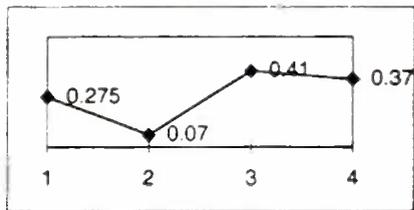


Figura 4.2.1.7. Tendencia de la tasa de crecimiento en 1993

Algo que es claro a simple vista es que las tasas en ambos casos tienen el mismo patrón de comportamiento. La tasa de crecimiento es menor en el **verano** de 1992, al grado de hacerse negativa, esto se explica dado que, como ya se mencionó, las plantas comienzan a morir en principios de verano y para otoño ya empezaron a crecer otra vez.

Entonces, se analizó el factor tiempo con cuatro distintos tratamientos: primavera, verano, otoño e invierno; y se aplicó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis porque se probó que los residuales no tenían un comportamiento normal.

Los resultados del modelo indican que **existe una influencia significativa de las estaciones sobre la talla y sobre la tasa de crecimiento**. Esto porque en ambos casos se rechazó, al 95% de confianza, la hipótesis nula de que las medias de los tratamientos son iguales.

Una vez que se comprobó que existen diferencias entre las medias, es decir que existe un efecto del tratamiento o estación anual sobre la media, se requiere examinar las medias de cada clase y obtener la magnitud de las diferencias entre ellas. Lo que se busca es saber si las diferencias son significativas (H_0 : no hay incremento en la variable), a un dado nivel de confianza (95%).

En el caso de la **talla** ésta resultó ser significativamente mayor en primavera y significativamente menor en verano. En otoño e invierno ésta se mantiene cerca del valor de la media (μ).

Tabla 4.2.2.1. Parámetros estimados para la variable (y_{ij}) talla.

Promedio de la talla	Estimado (τ_j)	Resultado (p/t)
33.56	Primavera: 5.24	Aumenta significativamente
	Verano: -6.79	Disminuye significativamente
	Otoño: -2.19	-
	Invierno: 3.75	-

La prueba de Tukey-Kramer es una no paramétrica para muestras desbalanceadas que nos permite saber si existe diferencia significativa entre cada tratamiento (o estación).

su talla máxima durante la primavera y empiezan a morir después de su máximo reproductivo a finales de primavera y principios de verano; durante el verano se presentan las tallas mínimas y los valores mínimos en la tasa de crecimiento; más tarde los individuos empiezan a crecer otra vez en el otoño (a partir de la segunda mitad de octubre) cuando los valores de la tasa de crecimiento son mayores. El invierno no tiene un efecto significativo sobre el promedio de la talla ni sobre el de la tasa de crecimiento; además no es significativamente diferente de la primavera ni en ninguno de los dos casos.

Los resultados de los análisis hechos a los datos nos permiten llegar a proponer una estrategia de cosecha para el recurso en la costa noroccidental del país. Recordemos de los antecedentes, que ha sido probado que las plantas en estado reproductivo representan el máximo rendimiento de ácido algínico y, que el contenido de este ficocoloide es mayor en el tallo que en el follaje y receptáculos, por lo que una talla mayor significa un mayor rendimiento.

Suponemos que esta estrategia de extracción no pone en riesgo la sustentabilidad de la industria que pudiera crearse en torno al recurso, esto porque la estrategia reproductiva de la especie es muy eficiente y porque existen organismos en reproducción durante todo el año. Además se puede distinguir una mayor presencia de plantas en estado reproductivo en un intervalo que comienza desde abril y finaliza en agosto. Por lo tanto, la cosecha a finales de primavera y principios de verano (mayo, junio y julio) no evitará que el recurso siga presente.

La cosecha de las plantas se podrá realizar de manera manual durante la marea baja en la zona inter y submareal. En el último caso se puede utilizar cualquier tipo de buceo libre. Algunos autores hacen sugerencias de manejo para evitar la sobreexplotación del recurso, por ejemplo Calumpong (1999) sugiere que en el momento de la cosecha se debe dejar el órgano de fijación sujeto a su sustrato para que este pueda regenerarse. Sin embargo, en nuestro caso es necesario hacer más estudios para inferir cual sería el comportamiento de las poblaciones bajo diversas intensidades de cosecha; además

debemos considerar que al mismo tiempo que queremos mantener una industria estamos tratando de controlar el crecimiento poblacional del recurso.

Teóricamente es sabido que la cosecha de la especie controlará su tamaño poblacional, pero para saber con mayor exactitud como reaccionará la población ante diferentes niveles o intensidades de cosecha, se propone que como parte de un plan de manejo, que se haga la tarea de generar más información sobre la dinámica poblacional de la especie y aplicar otras técnicas de análisis; por ejemplo, el uso de un modelo matricial modificado de Leslie como el que propone Ang (1987) para estudiar poblaciones de *Sargassum* spp. en Filipinas. Además se pueden hacer estudios a nivel de comunidad como los que hizo Abbott *et al.* (1980) para predecir con mayor exactitud como reaccionará la especie ante la cosecha.

4.3. Análisis de las consideraciones económicas presentes en la propuesta de extracción y uso de *Sargassum muticum*

Existen una serie de consideraciones económicas que deben tenerse en cuenta cuando se busca analizar el problema que representa *Sargassum muticum*, como especie introducida a las costas de nuestro país, y también cuando queremos justificar su cosecha como una alternativa de gestión. Es por esta razón que en este capítulo se hace una revisión del lugar que tienen las macroalgas y sus derivados en la economía de México, haciendo referencia a los beneficios económicos que resultarían de la explotación de *Sargassum muticum* con fines comerciales.

Dado que la alteración del hábitat debida a la sustitución de especies nativas con exóticas es una causa de la pérdida de biodiversidad en México, se podría decir que la ausencia de valoración económica de la biodiversidad que se ve afectada por la presencia de *Sargassum muticum* se debe a que no se consideran sus atributos biológicos ni su

función ambiental. Otra manera de explicar la situación es haciendo notar que tal valuación de la biodiversidad sí se hace, pero otorgándole un valor nulo (o precio cero).

La presencia de *Sargassum muticum* puede afectar directamente a otras macroalgas que son cosechadas por su valor de uso o, indirectamente al desplazar a otras especies de poco valor inmediato para los humanos pero que sirven de base para la existencia de aquellas que son económicamente importantes.

Ante este panorama en el que *Sargassum muticum* resulta ser una amenaza ecológica, existe la posibilidad de ver la situación desde otra perspectiva; una en la que se considere a la especie como un “recurso” presente en las costas de nuestro país que hasta ahora ha sido desaprovechado.

4.3.1. Descripción del espacio potencial de mercado para los productos de *Sargassum muticum*

En este apartado pretendo dejar en claro que sí existe un espacio en el mercado nacional e internacional para los productos de *Sargassum muticum*, especialmente para los alginatos.

4.3.1.1. Explotación y uso de las macroalgas

Algo que he observado a lo largo del desarrollo de mi investigación es que, con la mayoría de la gente, cuando se habla de “macroalgas marinas” se está tocando un tema que no les es muy familiar. Por otro lado, todos los que hemos tenido la oportunidad de ir y observar las comunidades que viven en la zona intermareal a lo largo de la costa, podemos apreciar la gran variedad e intrincada belleza de estas formas de plantas.

Una vez que nos hacemos conscientes de su presencia, la pregunta que sigue es ¿para qué pueden servirnos? y, nos sorprendería saber que las macroalgas marinas han sido utilizadas desde hace miles de años en una amplia variedad de usos. El uso más obvio que se les ha dado es como alimento humano, su utilización en este sentido ha alcanzado su pico en Japón y en otras zonas de Oriente donde muchas especies han sido cosechadas con este propósito.

En Occidente, por otro lado, el uso de las algas como alimento humano es culturalmente rechazado lo que ha dificultado su comercialización en este sentido. Sin embargo, en muchas partes del mundo las macroalgas se usan como forraje para animales, como fertilizantes o como fuentes de energía. Los extractos de las macroalgas y sus compostas son aplicados a los cultivos como fuentes de nutrientes y como acondicionadores de suelo y, para la producción de energía la biomasa puede descomponerse en un proceso de digestión anaeróbica para producir gas metano.

Actualmente en México el consumo de algas es el mismo que en Europa hace algunos años, se venden en tiendas naturistas como alimentos saludables y en restaurantes japoneses, pero todos los productos de este tipo que podemos adquirir en el país son importados. El interés que ha surgido alrededor de las algas está siendo promovido por sus propiedades nutricionales y preventivas.

Nutricionalmente hablando las macroalgas tienen altas concentraciones de minerales que pueden ser tóxicos si se comen en exceso. Su contenido de vitaminas, a diferencia de las microalgas, no es importante. Los polisacáridos algales no son degradables por el hombre, sin embargo, su importancia está en su uso como fibra soluble (propiedades mecánicas y químicas que ayudan a digerir el alimento) e insoluble (sólo propiedades mecánicas). Es importante mencionar que las fibras solubles pueden fermentarse en los intestinos y producir gases, como el metanol, causando incomodidad. Las proteínas en las macroalgas por lo general no son biodisponibles, pero esto depende de la especie; las algas rojas y verdes son las que llegan a tener proteínas disponibles para

el hombre y se ha descubierto que el perfil de aminoácidos es complementario al de las plantas terrestres.

Además de la importancia nutricional, existen otras características químicas que hacen importantes a las algas: sus compuestos biológicamente activos. Estos compuestos tienen diferentes propiedades y varían con la especie. Ejemplos de estos son: los promotores de crecimiento, bactericidas, fitoesteroles (reducen el nivel de colesterol en la sangre), polifenoles (hacen que las proteínas no puedan ser asimiladas) y antifúngales en algas pardas; vermífugos e insecticidas naturales en algas rojas; antimicrobiano en algas verdes; etc.

Tanto las propiedades nutricionales como los compuestos biológicamente activos pueden ser aprovechados por el hombre. En las algas existe la presencia de antinutrientes como los polifenoles, que no dejan que las proteínas puedan ser asimiladas por el organismo; y también presentan contaminantes como los minerales en altas concentraciones, los halógenos y las toxinas que pueden manifestarse en: diarreas, parálisis y hasta la muerte. Pero no todo es negativo, el secreto está en saber que algas son comestibles, que tratamiento deben recibir y como pueden ser utilizadas.

En México el campo que existe para el aprovechamiento de los recursos algales es muy amplio y el interés es cada vez mayor. Las especies de macroalgas que actualmente se explotan en el país se listan en la tabla 4.3.1.1.1. La industrialización es mínima lo que representa un gran déficit económico que podría remediarse si los proyectos que actualmente se promueven se concretaran, entonces México, además de cubrir sus necesidades locales, podría ser exportador no sólo de materia prima sino también de productos terminados.

Tabla 4.3.1.1.1. Especies de macroalgas explotadas comercialmente en México

Especie	Uso	Cosecha regular	Cosecha esporádica o reciente	Industrialización nacional
<i>Macrocystis pyrifera</i>	Alginatos	X		No
<i>Gelidium robustum</i>	Agar	X		Si
<i>Gigartina canaliculata</i>	Carragenano	X		No
<i>Gracilaria pacífica</i>	Agar		X	No
<i>Egregia mensiesi</i>	Harina		X	?
<i>Euchema uncinatum</i>	Carragenano		X	No
<i>Porphyra sp</i>	Harina		X	?

Fuente: Zertuche González, 1993, pag. 34.

4.3.1.2. La pesquería de macroalgas en Baja California

Baja California colinda con dos cuerpos de agua que son conocidos por su riqueza: el Océano Pacífico y el Golfo de California, dos ambientes totalmente distintos, que brindan al estado una amplia variedad de recursos. Es por esta razón, que en la región existen muchas especies de algas con importancia económica, pero la mayoría de ellas aún no están siendo utilizadas en nuestro país.

Es importante reconocer que sólo las especies con mayor ocurrencia nos pueden dar un beneficio económico. Ya que en el diseño de cualquier proyecto la accesibilidad y la abundancia de las materias primas son factores determinantes. En Baja California actualmente se explotan las especies de algas: *Gigartina canaliculata*, *Gelidium robustum*, y el sargazo (*Macrocystis pyrifera*); estas macroalgas se han explotado en México de forma continua desde mediados de los cincuenta y principios de los sesentas, y en 1993 se inició la explotación comercial de *Gracilaria pacífica*. Otra forma en la que se comercializan es como algas secas (en esta clasificación se incluye a *Egregia mensiesi* y *Porphyra sp.*).

La producción de algas en el estado de Baja California, en volúmen de extracción, que reporta la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), por medio de su departamento de informática y registro pesquero, se expone en la

de estas dos empresas, existen otros permisionarios con autorización para extraer el alga que, a su conveniencia, la venden localmente o la exportan (Zertuche-González, 1993).

Gelidium robustum es una planta que se distribuye desde el litoral inferior hasta una profundidad de 15 a 20 metros; se cosechan normalmente plantas de 30 cm de longitud y en la parte central de Baja California se han determinado densidades de 1 a 2 kg por metro cuadrado. La producción mexicana de *Gelidium* oscila en las las 1,500 tons por año, de las cuales aproximadamente 1,000-1,200 se procesan en el país y el resto se exporta (Zertuche-González, 1993).

En relación con las importaciones de agar que se hacen al país, es importante decir que la mayor parte las hace la propia empresa productora AGARMEX, para después volverlo a exportar. Esto lo hacen con el fin de mejorar su producto a base de mezclas y/o mantener el aprovechamiento de líneas de producción.

Otra agarofita es *Gracilaria sp* y recientemente ha comenzado su explotación en mantos localizados en Laguna San Ignacio, 150 km al sur de Baja California. Estimaciones han identificado una zona de 60 hectáreas con altas densidades de esta especie. Los mantos han mostrado tener una alta capacidad de recuperación después de ser cosechados, lo que ha permitido estimar una capacidad de extracción de 900 toneladas secas al año en esta área. Este lugar representa sólo una parte de la zona potencialmente explotable, pero que aún no ha sido cuantificada. En 1993 se exportaron las primeras 20 toneladas secas a China (Zertuche-González, 1993).

Gigartina canaliculata es la única especie en México que actualmente se usa como productora de **carragenano**, ficocolide de algas rojas, y ha sido extraída y comercializada en forma continua desde 1966. Toda su producción ha sido exportada, principalmente a Estados Unidos y recientemente también a Francia. Sin embargo, su explotación ha sido muy variable año con año y ha dependido exclusivamente de su demanda en el extranjero. *Euchema uncinatum*, especie del Golfo de California, también es productora de

carragenano y se cosechó un par de años en los ochentas, pero esta actividad no prosperó, probablemente debido a la variabilidad en su abundancia. México importó alrededor de 200,632 miles de pesos en carragenanos durante 1998, pero no se ha instalado una planta de extracción debido precisamente a la incertidumbre de contar con suficiente materia prima. Investigadores del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) en Ensenada, han realizado estudios que permiten considerar la utilización de dos especies de algas productoras de carragenanos: *Euchema uncinatum* y *Gigartina pectinata*, ambas del Golfo de California, a través de cultivos que produzcan mayor biomasa, ya que su presencia anual o pseudoanual no permiten su explotación continua. Actualmente existe una planta piloto o experimental promovida por el gobierno donde se han desarrollado ya algunos productos a partir de *Gigartina canaliculata*, *Euchema uncinatum* y *Gigartina pectinata* (Zertuche-González, 1993).

La industria de los **alginatos**, ficocoloide que se extrae de las algas pardas, se inició en México en 1956 con la explotación de *Macrocystis pyrifera* a partir de embarcaciones. Actualmente existe una compañía, "Productores del Pacífico", que tiene un barco cosechador con un diseño especial que le permite podar la planta hasta 1.2 metros de profundidad. El barco tiene una capacidad de 300 toneladas húmedas. El alga se exporta fresca a Estados Unidos a la compañía KELCO para su proceso. Se cosechan alrededor de 25,000 toneladas húmedas al año, aunque esta cantidad puede ser muy variable, ya que se depende de la demanda que haga la compañía extranjera y de las condiciones ambientales.

4.3.1.3. Uso industrial de los alginatos.

Los ficocoloides se encuentran principalmente en ciertos ordenes de macroalgas rojas y pardas (Tabla 4.3.1.3.1) y tienen una gran variedad de usos. Se usan como gelificantes en cultivos microbiológicos y en la gelatina comercial; como emulsificadores, espesantes y estabilizantes de alimentos, cosméticos y farmacéuticos; y como agentes

hidrófilos en la industria papelera y textil.

La demanda de estos productos crece año con año, pero se teme que la disponibilidad de los mismos no satisfaga la demanda gracias a la presión ecológica ejercida por el pastoreo, la contaminación y la sobreexplotación de los recursos algales. En la ausencia de sustitutos sintéticos, se debe trabajar en tres alternativas de solución: el descubrimiento y desarrollo de nuevas fuentes naturales, el manejo integral de las poblaciones silvestres existentes y la maricultura o cultivo artificial de algas productoras de ficocoloides.

La primera opción es la que parece más inalcanzable y con menor futuro; la idea de la maricultura no es nueva y muchas algas ya se han mantenido en cultivos artificiales a pequeña escala (entre ellas *Sargassum muticum*), pero aun faltan estudios económicos (costo-beneficio) para evaluar esta alternativa; finalmente la última opción es la favorita, el manejo del recurso incluye el control de los procedimientos de cosecha, el reaprovisionamiento de las poblaciones explotadas. Como ejemplo está el caso de manejo que exitosamente ha sido aplicado a *M. pyrifera* en la costa del Pacífico de Norte América.

De los tres tipos de ficocoloides el que nos incumbe es el **alginato** ya que es un producto de *Sargassum muticum*. El alginato o ácido algínico es un ácido orgánico que se presenta en cantidades considerables en varias macroalgas marinas de la división phaeophyta.; su concentración o rendimiento varía entre un 15 y 30% en los diferentes géneros. Sus usos son muy importantes dentro de la industria alimenticia, farmacéutica, papelera, de textiles y cosméticos.

El método de extracción del ácido algínico ha sido descrito por Stanford (1833)*, Pillai (1957)*, Kappana *et al* (1962)*, Shah *et al* (1968)*, Chako y Malupillai (1958)*, Pillai y Shyanamma (1959)*, Valson (1965)*, Durairatnam y Greiro (1969)*, y Cameron, Ross y Percivel (1948)*. Todas las referencias (*) citadas en Durairatnam y Cavalcanti de

Natscimiento (1984).

Tabla 4.3.3.1. Fuentes principales de ficocoloides algales.

Productoras de agar (algas rojas)	
Orden: Nemaliales	
<i>Gelidiella</i>	1 especie
<i>Gelidiopsis</i>	1 especie
<i>Gelidium</i>	Aproximadamente 16 especies
<i>Pterocladia</i>	4 especies
Orden: Gigartinales	
<i>Gracilaria</i>	Aproximadamente 6 especies
Productoras de carragenanos (algas rojas)	
Orden: Gigartinales	
<i>Chondrus</i>	2 especies
<i>Euchema</i>	5 especies
<i>Furcellaria</i>	1 especie
<i>Gigartina</i>	Aproximadamente 7 especies
<i>Gloiopeltis</i>	1 especie
<i>Gracilaria</i>	Aproximadamente 6 especies
<i>Hypnea</i>	2 especies
<i>Iridaea</i>	3 especies
<i>Phyllophora</i>	1 especie
Productoras de alginatos (algas pardas)	
Orden: Laminariales	
<i>Ecklonia</i>	2 especies
<i>Eisenia</i>	1 especie
<i>Laminaria</i>	Aproximadamente 8 especies
<i>Macrocystis</i>	1 especie
Orden: Fucales	
<i>Ascophyllum</i>	1 especie
<i>Sargassum</i>	Aproximadamente 4 especies

Tomada de: Gellenbeck y Chapman (1983), pag. 32.

En 1984 Durairatnam y Cavalcanti de Natcimiento describieron el contenido de alginato en diferentes partes de *Sargassum vulgare*, una planta común en el Noreste de Brasil. Sus resultados fueron congruentes con lo que encontró Shah, Mody y Rao (1967) en *S. johnstonii*, *S. tenerrium* y *S. swartzii*: los contenidos de ácido algínico son mayores en los tallos que en las hojas, los pneumatocistos y los receptáculos.

El ácido algínico es un biopolímero insoluble derivado de una variedad de algas pardas (*Macrocystis*, *Fucus*, *Laminaria*, *Sargassum*, etc.). Está estructurado por cadenas de bloques repetidos de ácido manurónico y gulurónico; la composición de los bloques depende de las especies que se usan para su extracción. Su presentación más común es en un polvo blanco que se logra a través de un proceso de extracción y neutralización. La neutralización se hace con varias sales carbonatadas, como el carbonato de calcio o el de potasio, para formar sales conocidas como alginatos; por ejemplo el alginato de calcio o de potasio.

Uno de los tantos usos del ácido algínico está en medicamentos para el control de la hiperacidez estomacal; aunque es insoluble en agua, es soluble en el ambiente ácido del estómago. Algunas veces en las formulaciones se incluye carbonato de calcio para formar un gel que sirva de barrera temporal en el tracto digestivo; el gel de alginato de calcio es menos denso que el contenido estomacal por lo que puede flotar en la superficie del estómago y evitar la irritación del esófago por el reflujo ácido.

La presentación en sales del ácido algínico, los alginatos, son solubles en agua y forman soluciones viscosas que varían con la concentración. Los únicos geles de alginato se forman en la presencia de iones de calcio, son de tipo químico y no son reversibles al calentarlos.

El alginato de calcio también puede usarse en la manufactura de gasas para la curación de quemaduras o heridas serias en las que una gasa normal sería muy difícil de

remover después. La gasa puede quitarse con una solución de cloruro de sodio para hacer el alginato soluble en agua. Esta técnica ha evitado que la remoción física de las curaciones sea dolorosa y afecte las heridas. La compañía que ofrece estas gasas de fibra de alginato de calcio es: SHERWOOD DAVIS & GECK

Otros usos de los alginatos están en la fabricación de conservas vegetales y mermeladas, en confitería, repostería y elaboración de galletas, en nata montada y helados. También se utiliza en la elaboración de fiambres, patés, sopas deshidratadas, para mantener en suspensión la pulpa de frutas en los néctares y en las bebidas refrescantes que la contienen, en salsas y, como estabilizante de la espuma de la cerveza.

Como los alginatos no se absorben en el tubo digestivo y tampoco se ven muy afectados por la flora bacteriana presente, pueden usarse en productos dietéticos para dar la sensación de estar satisfecho. Por otro lado, como tienen una capacidad de ligar metales pesados, contaminantes, elementos cancerígenos y toxinas; pueden ser utilizados para promover su eliminación del cuerpo humano.

Se ha acusado a los alginatos, así como a otros gelificantes, de disminuir la absorción de ciertos nutrientes, especialmente metales esenciales como hierro o calcio. Esto solo es cierto a concentraciones de alginato mayores del 4%, las cuales nunca son utilizadas en un alimento. Los alginatos no producen, que se sepa, ningún otro efecto perjudicial.

Además de usarse en la industria alimenticia y farmacéutica, los alginatos tienen un uso muy importante en la industria textil; se usan como una pasta espesa que se aplica al material cuando se imprimen los colores a las telas, subsecuentemente pueden ser removidos para hacer diseños en el textil.

Los gelificante, espesantes y estabilizantes se identifican en la industria por medio de claves; por ejemplo, el agar-agar tiene la clave E-406 y el carragenano es E-407. Las

claves de los algiatos son como siguen:

E-400 Acido algínico

E-401 Alginato sódico

E-402 Alginato potásico

E-403 Alginato amónico

E-404 Alginato cálcico

E-405 Alginato de propilenglicol

4.3.1.4. Discusiones

Con base en la información que se presenta en este apartado es fácil darse cuenta de que son muchos los usos que tienen los alginatos en diferentes industrias internacionales y, por lo tanto, la extracción de *Sargassum muticum* para su uso como fuente de alginatos es una idea que tiene un sustento teórico, que es técnicamente factible y económicamente viable.

Existe una planta piloto de extracción de alginatos en México en la que se ha trabajado con *Sargassum*, existe el mercado para los productos y la materia prima está disponible en el medio natural. Sólo se necesita promover la idea dentro de la iniciativa privada para iniciar un proyecto de mayor escala al crear una empresa para la producción de alginatos en México.

En dicho proyecto se podrían usar otras macroalgas además de *Sargassum muticum*, ya que el proceso de extracción del ácido algínico es el mismo. Por otro lado, como parte de un departamento de investigación dentro de la empresa, sería posible hacer los estudios que faltan para el manejo adecuado del recurso.

4.3.2. Análisis del comercio exterior en torno a los recursos algales en México

Como ya se mencionó, en México se extraen las macroalgas como materia prima para ser industrializada en otros países, principalmente en Estados Unidos. De un total de aproximadamente 5,672 toneladas de algas exportadas por México en 1998, 5,651 toneladas se fueron a Estados Unidos; lo que representa el 99.6% y un total de 2,721,000 pesos (INEGI, 1998).

Para 1999, INEGI reporta la extracción de 4,715 toneladas de algas en general y 6,119 toneladas exclusivamente de sargazo de mar (*Macrocystis pyrifera*), lo que nos refleja la importancia de la industria de los que gira alrededor de esta macroalga, es decir, de la industria de los alginatos. En los mejores años, como 1995, se cosecharon 44,230 toneladas lo que representó un ingreso aproximado de 7,238,000 pesos al país, un 3.15% de la producción pesquera nacional (INEGI, 1995).

Por otro lado, mientras México tiene un ingreso aproximado de 7,238,000 pesos en sus mejores años, en 1989 se importaron 10,473,970 pesos en alginatos (Zertuche-González, 1993). Ver la tabla 4.3.2.1.

Tabla 4.3.2.1.. Importaciones a México de alginatos en miles de pesos

	1985	1986	1987	1988	1989
Acido alginico	28,078	550.01	341.87	434.63	793.94
Alginato de de Na	109,235	687.96	1,331.92	2,071.41	4,369.81
Alginato de K	224,305	1,322.32	2,526.59	2,364.76	1,756.69
Propilenglicol	380,604	3,016.15	6,153.01	4,556.08	3,441.72
Alginato de Mg y Ca			121.65	256.55	111.81
Total	742,222	5,576.44	10,475.04	9,683.43	10,473.97

Fuente: Zertuche González, 1993, pag. 35.

Los datos que se muestran sobre importación de alginatos en esta tabla no son actuales porque INEGI no los reporta por separado como lo hace con el agar y los carragenanos (otros ficocoloides algales). Existe un apartado para jugos y extractos

vegetales en donde se incluye el agar, la carragenina, las pectinas, la goma guar la harina de algarrobo y “los demás mucílagos y espesativos derivados de los vegetales, incluso modificados”; los alginatos caben dentro de esta última clasificación. Ver la tabla 4.3.2.2.

Tabla 4.3.2.2. Valor representativo de la importación de mucílagos y espesativos derivados de vegetales en los que se incluyen los alginatos para el año de 1998.

País exportador	Cantidad (kg)	Valor (miles de pesos)
Alemania	11,176	1,602
Canadá	1,802	343
China	8,146	38
Com. Econ. Europea	350	12
Dinamarca	12,477	999
España	128	13
Estados Unidos de América	79,414	2,855
Francia	275	35
Monaco	11	1
Paises Bajos	1,814	52
Turquia	46	3
Totales.-	115,639	5,953

Fuente: Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Importación. INEGI. 1998.

En 1998 México recibió un ingreso por venta de algas de alrededor de 2,947,000 pesos y por venta de agar de 11,946,000 pesos. Como ya se mencionó antes, el agar es el único ficocoloide que se industrializa en México y, como resalta a la vista, existe una gran diferencia entre el ingreso recibido por venta de materia prima en comparación con un producto manufacturado, casi 9,000,000 de pesos.

En la tabla 4.3.2.4.se presenta el total del valor de las exportaciones en miles de pesos, para el agar (producto terminado) y para las algas en general (materia prima) para 1998 (INEGI, 1998).

Tabla 4.3.2.4. Valor de las exportaciones de agar y algas en miles de pesos para 1998.

Producto	País importador	Cantidad (kg)	Miles de pesos
Agar-agar	Brasil	1,000	286
	Colombia	1,200	189
	España	12,000	3,066
	Estados Unidos	48,045	7,903
	Guatemala	1,900	313
	Peru	150	24
	Reino Unido e Irlanda	90	40
	Venezuela		
	Total	800	125
		65,185	11,946
Algas	China	20,000	219
	El Salvador	330	6
	Estados Unidos	5,651,507	2,721
	Nicaragua	50	1
	Total	5,671,887	2,947

Entonces el total de ingresos recibidos por venta de algas y agar para México en 1998 fue de 14,893,000 pesos. Sin embargo, en el mismo año se importaron 200,632,000 pesos en carragenanos y 3,874,000 pesos en agar; un total de 204,506,000 pesos en ficocoloides (INEGI, 1998). Lo que representa un déficit de 189,613,000 pesos en esta rama comercial, sin contar el monto que corresponde a la importación de alginatos (el cual no se incluye porque no está reportado por separado por el INEGI). Déficit que podría disminuirse significativamente, si los proyectos que actualmente se promueven se concretaran y México se convirtiera en productor de alginatos y carragenanos.

A través de un apoyo de la FAO el gobierno de México promovió, hace ya varios años la instalación de dos plantas piloto para la producción de ficocoloides, una para

carragenanos y otra para alginatos. El Instituto Nacional de Pesca (INP-SEMARNAP) reporta que la planta piloto de carragenanos está en el Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de Ensenada, B.C.; por otro lado, la planta piloto de alginatos se encuentra en el CRIP de la Paz, B.C.S., donde se realizan “estudios de estabilidad y especificaciones del ácido algínico, alginato de sodio y alginato de potasio”, como lo reporta el INP-SEMARNAP.

Actualmente la planta piloto de la Paz, apoyada por el CICIMAR, produce alginatos a partir de algunas especies de la macroalga *Sargassum*, entre otras, para su venta a consultorios dentales; el producto lleva el nombre de “Algimar” (com. per. Dr. Ignacio Sánchez Rodríguez).

Un ejemplo del valor de este tipo de producto en el mercado es el de DEGUPRINT (DEGUSSA) que tiene un precio de 3,100 pts/ kg, como es ofrecido por una empresa española “Servicios a Clínicas” que vende todo tipo de productos para clínicas dentales por internet (<http://www.lander.es/~rangyden/index4.html>).

4.3.1.4. Discusiones

A la luz de los datos que se han presentado podemos decir que es un hecho que el comercio exterior en torno a la industria de las macroalgas en México es deficitario y que, por lo tanto, la promoción de proyectos como el que se ha sugerido aquí puede ser parte de una política orientada a eliminar dicho déficit comercial.

Es técnicamente factible la creación de plantas industrializadoras de alginatos y carragenanos y, además de que el país cuenta con la materia prima disponible, es económicamente redituable la venta de los productos a nivel nacional e internacional.

CAPITULO V. Conclusiones generales.

Como solución al problema que representa *Sargassum muticum* en las costas de México, en esta investigación se propone promover la cosecha de la macroalga con los siguientes beneficios: la protección de la biodiversidad de los ecosistemas que ha invadido, especialmente los recursos con importancia económica en la región, la diversificación de recursos en el sector pesquero y; el apoyo a una política orientada a eliminar el déficit que existe en el comercio exterior de la industria de los recursos algales en México.

Entonces, la principal aportación de éste trabajo es la generación de una estrategia de cosecha para la costa noroccidental de México; los resultados del análisis que se desarrolla aquí nos llevarán a concluir que la mejor época para la extracción del recurso es a mediados de la primavera y a principios del verano, específicamente en los meses de mayo, junio y julio.

Se llegó a dicha conclusión asumiendo que es durante esta época del año que los rendimientos de la macroalga serían mayores; al estar en su máximo desarrollo, es decir, con sus tallas máximas y por estar en el pico de su estado reproductivo. Dados los antecedentes y suponiendo que el recurso sería utilizado para la extracción de ácido algínico, este sería el mejor momento de cosecha; además, al cosechar las plantas fértiles se controlaría la reproducción de la especie.

A partir del análisis de la serie de datos que fueron generados por el Oc. Raul Aguilar entre 1992 y 1993 en la zona de Punta Morro en la Bahía de Todos Santos, B.C.; se concluye que existe un efecto del ciclo estacional sobre la tasa de crecimiento y la talla en las plantas de *Sargassum muticum*. La talla es significativamente mayor en primavera y significativamente menor en verano; por otro lado, la tasa de crecimiento es significativamente mayor en otoño y significativamente menor en verano, con una diferencia significativa entre todas las estaciones, excepto entre el invierno y la primavera (al 95% de confianza).

Se encontró que, aún cuando la especie se reproduce durante todo el año, existe un mayor número de individuos en estado reproductivo entre los meses de abril y agosto; pero el máximo reproductivo se da entre junio y julio. Información que concuerda con los resultados de otro estudio realizado en la misma zona entre 1987 y 1988 (Aguilar y Machado, 1990)

Los valores máximos de la talla se presentan a mediados de la primavera y principios del verano (abril, mayo y principios de junio) y, empiezan a disminuir en julio para tener sus valores mínimos a finales del verano y principios del otoño (agosto y octubre). Para fines de otoño (noviembre) los valores comienzan a aumentar otra vez.

La tasa de crecimiento tiene sus valores máximos durante el otoño (segunda mitad de octubre y primera mitad de noviembre) y los mínimos a finales del verano cuando las plantas están seniles (agosto y septiembre).

Por otro lado, después de analizar la información que se recuperó en esta investigación en torno a la amplia gama de usos que tienen los ficocoloides en México, sobre la viabilidad técnica y ecológica de utilizar *Sargassum muticum* como proveedor de alginatos y, después del sumario que se hace en torno a que el comercio de los recursos algales en el país es deficitario; es posible concluir que la extracción de *Sargassum muticum* y la industrialización de sus productos puede ser parte de una política orientada a eliminar dicho déficit comercial.

Recomendaciones

La información generada en esta investigación significa un avance para el entendimiento del problema regional que representa *Sargassum muticum* en los ecosistemas costeros de la región. Sin embargo, es imposible predecir a ciencia cierta cual será la reacción de las poblaciones bajo esta estrategia de cosecha, por lo que se recomienda aplicar otras técnicas de análisis; por ejemplo el uso de un modelo discreto de proyección como el que propone Ang (1987) para comparar diferentes grados de cosecha en diferentes periodos del año o, un estudio de la dinámica de la comunidad como el que hizo Abbott (1980) para comparar diferentes estrategias de cosecha.

Además, se necesita hacer un cálculo de la biomasa cosechable disponible en la región para poder hacer análisis de costo-beneficio en relación con su explotación y poder calcular con mayor precisión el beneficio económico que existe en su explotación.

Por otro lado, tener información sobre el rendimiento del ácido algínico en la especie de manera específica para la región y para las diferentes estaciones del año, nos daría una mayor certeza sobre la estrategia de cosecha que aquí se propone.

Referencias Bibliograficas

Abbott, I.A. y G.J. Hollenberg. 1976. Marine Algae of California. Standford University Press, Stanford California. 827 pp.

Abbott, I.A., M.S. Foster y L.F. Eklund. 1980. The effect of some physical and biological factors on a *Sargassum muticum* community, and their implication for comercial utilization. Proceedings of a Symposium on Useful Algae. Publish. California Sea Grant College Program Institute of Marine Resources. University of California. La Jolla, California.

Aguilar, R. 1989. Ecología de *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt en la costa noroccidental de Baja California, México. Informe final de proyecto UABC 0246. Ensenada, B.C., México. 39 pp.

Aguilar, R. y A. Machado. *Sargassum muticum* (Fucales, Phaeophyta) on the coast of Baja California, Mexico: reproductive phenology and epiphytes. *Hidrobiología* 204/205: 190-195.

Aguilar, R. 1991. Estructura por edades, talla y reproducción de una población de *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt (Phaeophyta) en Baja California, México. *Rev.Inv.Cient.*, 2(2):1-7.

Aguilar, R. y L.E. Aguilar. 1985. *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt en las costas de Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 11 (2): 127-129.

Aguilar, R. y L.E. Aguilar. 1993. Cronología de la colonización de *Sargassum muticum* (Phaeophyta) en las costas de la Península de Baja California, México (1971-1990). *Revista de Investigación Científica* 4(1): 41-51.

Aguilar, R. y A. Machado.1990. Ecological aspects of *Sargassum muticum* (Fucales, Phaeophyta) in Baja California, México:reproductive phenology and epiphytes. *Hydrobiologia*. 204/205:189-190.

Ambrose, R. F. and B.V. Nelson. 1982. Inhibition of giant kelp recruitment by an introduced brown alga. *Bot.Mar.* 25: 265-267.

Ang, P.O., Jr. 1984. Preliminary study on the alginate contents of *Sargassum* spp. in Balibago, Calatagan, Philipines. *Hydrobiologia*. 116/117: 547-550.

Ang, P.O. Jr. 1987.Use of projection matrix models in the assesment of harvesting strategies for *Sargassum*. *Hydrobiologia* 15/152: 335-339.

Ang, P.O. y R.E. De Wreede. 1990. Matrix models for algal life history stages. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 59:171-181.

- Ang, P.O., G.J. Sharp y R.E. Semple. 1996. Comparison of the structure of *Ascophyllum nodosum* (Fucales, Phaeophyta) at sites with different harvesting histories. *Hydrobiologia*, 326/327: 179-184.
- Anderson, L.G. 1982. Marine fisheries management policy. En: P.R. Portney (ed.), *Current Issues in Natural Resource Policy*, Johns Hopkins Univ. Press, Baltimor.
- Ballesteros-Grijalva, G., J.U. Labastida-Woods y E Durazo-Beltrán. 1990. Abundancia de *Gigartina canaliculata* Harvey, en el ejido Eréndida y Popotla, B.C., México. *Cienc. Mar.* 16: 23-34.
- Ballesteros-Grijalva, G., J.U. Labastida-Woods y E Durazo-Beltrán. 1990. Estimación de la abundancia de *Gigartina canaliculata* Harvey, en Bahía San Quintin, Baja California, México. *Cienc. Mar.* 12: 99-108.
- Begon, M. y M. Mortimer. 1986. *Population Ecology*. Second Ed. Blackwell Scientific Publications. London. 220 pp.
- Brown, L. 1993. *La Situación en el Mundo*. Informe del Worldwatch Institute sobre Desarrollo y Medio Ambiente.
- Caircross, F. 1992. *Costing the Earth*. Harvard Business School Press. Boston, Massachusetts. 341 pp.
- Casas-Valdez, M.M., I. Sánchez-Rodríguez y G. Hernández-Carmona. 1993. Evaluación de *Sargassum* spp. en la costa occidental de Bahía Concepción, B.C.S. México. *Inv. Mar. CICIMAR* 8: 61-69.
- Calumpong, H.P., A.P. Maypa y M. Magbanua. 1990. Population and alginate yield and quality assesment of four *Sargassum* species in Negros Island, central Philippines. *Hydrobiologia*, 398/399: 211-215.
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo. 1989. *Nuestro Futuro Común*. Editorial Alianza, Madrid.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. 1917. Decima edición, editorial Olguin, S.A. de C.V. México.
- Critchley, A.T. 1981. Age determination of *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. *Brit. Phycol. J.*, 16:134.
- Critchley, A.T. 1984. Attached *Sargassum muticum* in Lake Greveling and Eastern Scheldt. *Fellowship Royal Society, U.K.*, 7:1-2.
- Critchley, A. T., W.F. Farham y S.L. Morrell. 1986. An account of the attempted control of an introduced marine alga, *Sargassum muticum*, in the southern England. *Biol. Conserv.* 35: 313-337.

- Cruz-Ayala, M.B., M. Casas-Valdez y S. Ortega. 1998. Temporal and spatial variation of frondose benthic sea-weeds en La Paz Bay, B.C.S. Bot. Mar. 41: 191-198.
- Curiel, D., G. Bellemo, M. Marzocchi, M. Scattolin y G. Parisi. 1998. Distribution of introduced japanese macroalgae *Undaria pinnatifida*, *Sargassum muticum* (Phaeophyta) and *Antithamnion pectinatum* (Rodophyta) in the Lagoon of Venice. Hydrobiologia. 385:17-22.
- Chambers, P.A., J.W. Barko y C.S. Smith. 1993. Evaluation of invasions and declines of submersed aquatic macrophytes. J. Aquat. Plant Management. 31:218-220.
- Chapman, V.J. 1970. Seaweeds and their uses. Methuen & Co. Ltd. London.304 pp.
- De Wreed, R.E. 1978. Phenology of *Sargassum muticum* (Phaeophyta) in the Strait of Georgia, British Columbia. Syesis 11:1-9.
- De Wreede, R. E. 1983. *Sargassum muticum* (Fucales, Phaeophyta): regrowth and interaction with *Rhodomela larix* (Ceramiales, Rhodophyta). Phycologia 22: 153-160.
- Deysher, L.E. 1984. Reproductive phenology of newly introduced populations of the brown alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. Hydrobiología, 116/117: 403-407.
- Durairatnam M. y H. Cavalcanti de Nascimento. 1984. Alginic acid content in different parts os *Sargassum vulgare* Agardh. Seaweed Res. Utiln. 7(1):39-42.
- Enzensberger, H.M. 1976. Contribución a la crítica de la ecología política. Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.
- Espinoza, J. 1990. The southern limit of *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt (Phaeophyta, Fucales) in the Mexican Pacific. Botánica Marina, 33:193-196.
- Espinoza, J. y H. Rodríguez, 1986. Variaciones de *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt en la exposición al oleje. Inv. Mar. CICIMAR, 3(1): 119-126.
- Garibay, C. 1992. Plan Pátzcuaro 2000, Investigación multidisciplinaria para el desarrollo sostenido. V.M. Toledo, Alvarez y P. Avila Editores. México.
- Gellenbeck K.W. y D.J. Chapman. 1983. Seaweed uses: the outlook for mariculture. Endeavour New Series. 7(1):31-37.
- Grossman, S.I. 1996. Algebra Lineal. Quinta Ed. McGraw-Hill, México. 634 pp.
- Guzman del Proó, S.A., M. Casas-Valdez, C.A. Díaz, L. M. Díaz, B.J. Pineda y M. L. Sánchez. 1986. Diagnóstico sobre las investigaciones y explotación de las algas marinas en México. Inv. Mar. CICIMAR 3 (no. especial II): 1-63.

- Hales, J.M. y R.L. Fletcher. 1990. Studies on the Recently Introduced Brown Alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. *Botanica Marina*. 33: 241-249.
- Haroun, R.J.H. y M.S. Izquierdo. 1991. Distribución de *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt en Europa: Peligros de su penetración en la Península Ibérica. *Actas del V Simp. Ibér. Estud. Bentos Mar.* Tomo 1: 27-48.
- Hernández-Carmona, G., M. Casas-Valdez, C. Fajardo, I. Sánchez-Rodríguez y Y. E. Montesinos. 1990. Evaluación de *Sargassum* spp. en la costa occidental de Bahía Concepción, B.C.S. México. *Inv. Mar. CICIMAR* 5: 11-18.
- Hernández-Carmona, G., Y.E. Rodríguez-Montesinos, M. M. Casas-Valdez, M.A. Vilchis y I. Sánchez-Rodríguez. 1991. Evaluación de mantos de *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta:Laminariales) en la Península de Baja California, México. III. Verano de 1986 y variación estacional. *Cienc. Mar.* 17: 121-145
- Kaladharan, P. y N. Kaliaperumal. 1999. Seaweed Industry in India. *Naga*. Vol.22(1):11-14
- Kidd, C.V. 1992. The evolution of sustainability. *Journal of agricultural and environmental ethics*. 5(1):1-26.
- Lewey, S. Y W.F. Farnham. 1981. Observations on *Sargassum muticum* in Britain. *Proc. Int. Seaweed Symp.*, 8: 389-394.
- Lichtinger, V. 1994. La diplomacia Ambiental, México y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo; Alberto Glender/Víctor Lichtinger, compiladores; Secretaría de Relaciones Exteriores; Fondo de Cultura Económica; México.
- Markandya, A. y J. Richardson. *Environmental Economics: A Reader*. St. Martin's Press, Inc. Great Britain. 469 pp.
- Martínez Alier, J. 1995. Curso básico de economía ecológica. Oficina Regional para América Latina y el Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México. 114 pp.
- Mathieson, A.C., T.A. Norton and M. Neushul. 1981. The taxonomic implications of genetic and environmentally induced variations in seaweed morphology. *Bot. Rev.* 47: 313-347.
- Molina, M. J. 1988. Las algas marinas, un recurso de interes comercial en Baja California. En: *Los recursos pesqueros del país*. Eds. y comp. Secretaría de Pesca e Instituto Nacional de Pesca. 661pp.
- Nakamura, Hiroshi, Ohnuki, Nahomi, Sadamasu, Kenji, Sekine, Hiromasa, Tenaka, Jiro, Okada, Yoshinito, Okuyama y Toru. 1994. Antihuman immunodeficiency virus (HIV) activities of aqueous extracts from marine algae. *Natural Medicines*. 48(3): 173-179. (Lenguaje: japonés)

Nicholson, N., H. Hosmer, K. Bird, L. Hart, W. Sandlin, C. Shoemaker and C. Sloan. 1981. The biology of *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt at Santa Catalina Island, California. Proc. Int. Seaweed Symp. 8: 416-424.

Norton, T.A. 1977. The growth and development of *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 26: 41-53.

Norton, T.A. 1981. *Sargassum muticum* on the Pacific Coast of North America. Proc. Int. Seaweed Symp. 8:449-456.

Norton, T.A. y M.R. Benson. 1983. Ecological interactions between the brown seaweed *Sargassum muticum* and its associated fauna. Marine Biology. 75:169-177.

Norton, T.A. y R. Fetter. 1981. The Settlemente of *Sargassum muticum* propangules in stationary and flwing water. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 61: 929-940.

Nuñez-López, R. A. y M. Casas-Valdez. 1997 Variación estacional de la biomasa y talla de *Sargassum* spp. (Sargassaceae, Phaeophyta) en Bahía Concepción, B.C.S., México. Hydrobiologica. 7:19-25.

Nuñez-López, R. A. y M. Casas-Valdez. 1998. Seasonal variation of seaweed biomass in San Ignacio Lagoon, Baja California Sur, México. Bot. Mar. 41:421-426.

Okamura, K. 1924. Icones of Japanese Algae, 5. Published by the author, Tokyo. 258 pp.

Paula, E.J. and E.C. Oliveira. 1982. Wave exposure and ecotypical differentiation in *Sargassum cymosum* (Phaeophyta-Fucales). Phycologia 21: 145-153.

Prati, B. 1993. La búsqueda de México de un Nuevo Balance entre la Ecología y el Desarrollo Industrial. Inversión en México y el Tratado de Libre Comercio; SEGUMEX-INBURSA, Seguros de México, S.A.; Grupo Financiero INBURSA.

Rueness, J. 1989. *Sargassum muticum* and other introduced japanese macroalgae: biological pollution of european coasts. Marine Pollution Bulletin. 20(4): 173-176.

Saldierna-Martínez, R.J., C.A. Sánchez-Ortíz y G.R. Vera. 1987. Estudios sobre los primeros estadios de vida de las sardinias crinudas *Ophistonema libertate* y *Monterrey Sardinops sagax*, en Bahía Magdalena, B.C.S. Tesis de Licenciatura. UABCS. 217 pp.

Scagel, R.F. 1956. Introduction of a japanese alga, *Sargassum muticum* into the northeast Pacific. Fish. Res. Papers. Department of Fisheries State of Washington. 1: 49-59.

Setzer, R.B. y C. Link. 1971. The wanderings of *Sargassum muticum* and others relations. Stomatopod, 2:5-6.

Shah, H.N., I.C. Mody y A.V. Rao. 1967. Seasonal variation of viscosity of sodium alginate from *Sargassum* spp. and the preparation of high viscosity alginates. Indian J. Tech. 5(8): 269-270.

Simon, B. y S. Morse. 1999. Sustainability Indicators. Earthscan Publications Ltd. London. 175 pp.

Sindermann, C.J. 1991. Case histories of effects of transfers and introduction on marine resources-introduction. Journal du Conseil. 47:377-378.

Toledo, V. 1992. Plan Pátzcuaro 2000, Investigación multidisciplinaria para el desarrollo sostenido; V.M. Toledo, Alvarez y P. Avila Editores. México.

Vega, E. 1997. La valuación económica de la biodiversidad en México. En: INESEMARNAP (eds). Economía Ambiental: Lecciones de América Latina. 113-121 pp.

Viejo, R.M. 1997. The effects of colonization by *Sargassum muticum* on the tidepool macroalgal assemblages. J.mar.biol. Ass. U.K. 77: 325-340.

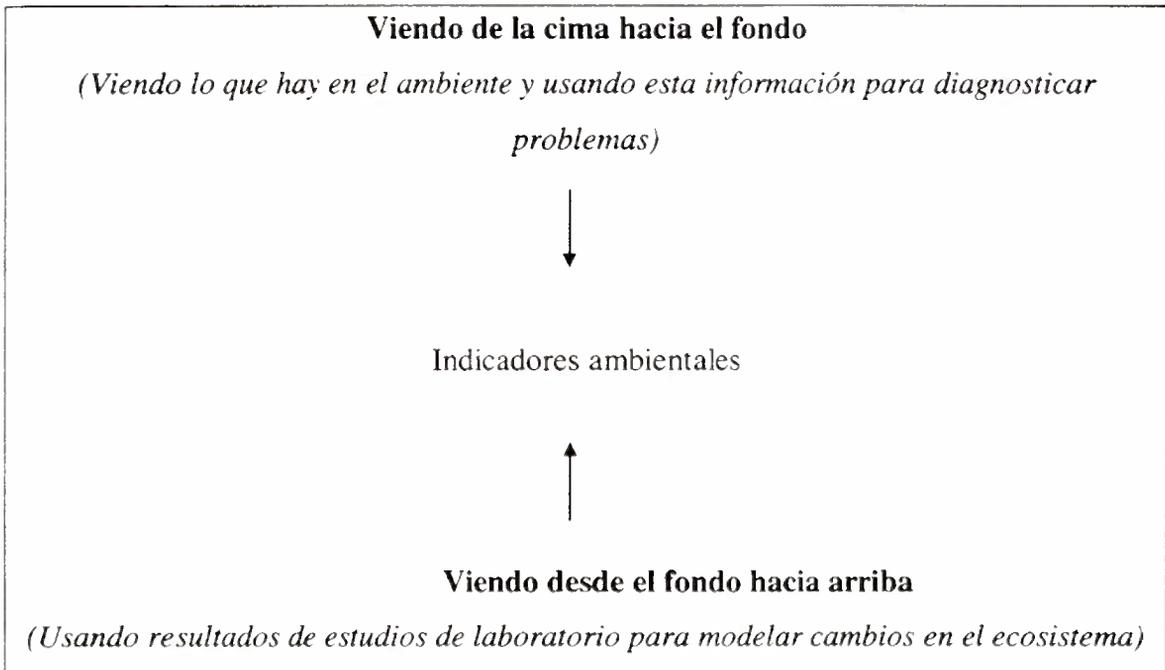
Walker, D.I. y G.A. Kendrick. 1998. Threats to macroalgal diversity: Marine habitat destruction and fragmentation, pollution and introduced species. Botanica Marina. 41:105-112.

Zertuche-González, J.A. 1993. Situación Actual de la Industria de las Algas Marinas Productoras de Ficoloides en México. Documento de campo #13 del Proyecto Aquila II. FAO-Italia.

ANEXO 1.

La biodiversidad como indicador de sustentabilidad:

Existen dos enfoques muy amplios cuando se habla de “indicadores ambientales”:



Tomado de: S. Bell y S. Morse (1999), F1g . 1.4, Cap.1, pag 19.

Siendo el de la “cima hacia el fondo” el más popular entre ambos. Dentro de esta categoría se pueden citar dos indicadores ambientales que comúnmente son reconocidos como indicadores de sustentabilidad:

- especies “indicadoras” sensibles a los cambios en el ambiente, y
- mediciones de la diversidad biológica.

Existen muchos estudios que ilustran como la composición de especies refleja la salud del ecosistema. Algunas especies son sensibles a los cambios en el ambiente y esto se observa no sólo en su presencia/ausencia, sino también en su distribución en el espacio

y el tiempo. Sin embargo, en la práctica tales especies indicadoras corren el peligro de perderse primero cuando el sistema se encuentra estresado y sufre una reducción de su biodiversidad.

En cuanto al segundo punto, se entiende por biodiversidad la gran variedad de entes biológicos, la cual incluye desde los miles de genes que existen en nuestras células, hasta la inmensidad de comunidades y ecosistemas naturales que cubren este planeta.

La biodiversidad, entre otras cosas, determina la presencia de oxígeno y la existencia de un suelo orgánico para la agricultura, factores sin los cuales no habría vida en el planeta. Es por esto, que una “medición” de la misma nos refleja el estado en el que se encuentra el ambiente.

Los ecólogos han medido la biodiversidad desde hace mucho tiempo y existen muchos métodos e índices; un ejemplo es el índice de Shannon-Wiener (H), en el que mediante una serie de ecuaciones se busca el valor de H y entre mayor sea este valor mayor será la biodiversidad que representa. La ventaja de este tipo de mediciones es que simplifican la complejidad a un solo valor que permite la “comparación”.

Sin embargo, aunque el “índice de biodiversidad” es muy usado entre los biólogos también tienen una serie de limitaciones, especialmente porque tiene un formato muy técnico que no necesariamente será bien recibido entre otras disciplinas. Debido a esto el trabajo que se ha realizado en la búsqueda de “mejores” indicadores es muy extenso.

Antes de cerrar este apartado quisiera resaltar que sea o no un buen indicador, la biodiversidad está directamente relacionada con la salud de los ecosistemas y, por lo tanto, bien valen la pena los diversos esfuerzos que se han realizado en muchos países para proteger y preservar la diversidad biológica del planeta, y, recientemente, para analizar los costos y beneficios reales que resultan de dicha protección.

ANEXO 2.

Economía y deseconomía externa:

Una economía de mercado es un mecanismo por medio del cual los individuos y los vendedores de un bien o servicio determinan conjuntamente su precio y su cantidad. En un sistema de mercado todo tiene un precio, que es el valor expresado en dinero y, que representa los términos en los que las personas y las empresas intercambian voluntariamente las mercancías. Los precios constituyen el engranaje del mecanismo del mercado ya que transmiten señales entre los productores y los consumidores. Si los precios suben se reduce la demanda y se fomenta la producción y si los precios bajan se fomenta el consumo y se reducen los incentivos para la producción.

Uno de los pasajes más famoso de toda la economía es el que proclamó Adam Smith en su obra "La riqueza de las naciones" (1776), y en el que establece el principio de la "mano invisible", según el cual todo individuo al buscar egoístamente su propio beneficio, es guiado por una mano invisible a lograr lo mejor para todos. Su idea del funcionamiento del mercado ha inspirado a los economistas modernos, tanto a los amantes del capitalismo como a sus detractores.

Sin embargo, hoy en día se tiene la experiencia necesaria para reconocer el alcance y las limitaciones realistas de esta doctrina. Se sabe ahora que el mercado tiene fallos o *imperfecciones* y que, por lo tanto, sus resultados no son siempre los más eficientes. En primer lugar, porque lo que caracteriza el funcionamiento del sistema no es la competencia perfecta, sino un amplio abanico de formas de *competencia imperfecta*, tanto en los mercados de bienes y servicios como en el de los factores productivos. Esto es, la presencia de oligopolios, monopolios y monopsonios; rigideces en los mercados de trabajo y capital; la existencia de diversas formas de racionamiento en el mercado de

capital; la intervención del gobierno a través de impuestos, subsidios, control de precios, etc.

En segundo lugar, las imperfecciones de mercado se originan también en la *incompletitud* de muchos mercados, la falta de información, etc. Finalmente, y este es el punto que más interesa aquí, en la existencia de un conjunto de bienes (y males) que por carecer de un mercado en el cual intercambiarse no tienen un precio, este es el caso de los llamados *bienes públicos*, los *recursos comunes* y las *externalidades*.

Adam Smith descubrió que en condiciones de competencia perfecta, los mercados extraen de los recursos existentes el mayor número posible de bienes y servicios útiles. Sin embargo, cuando se presentan fallas en el mercado la eficiencia de la mano invisible queda suspendida. Las fallas en el mercado pueden ser el monopolio y otros tipos de competencia imperfecta, así como las famosas externalidades.

Decimos que estamos en presencia de una externalidad (economía externa), cuando la actividad de una persona (o empresa) repercute sobre el bienestar de otra (o sobre su función de producción), sin que se pueda cobrar un precio por ello, en uno u otro sentido. Bienes y males que no tienen precio son nombrados externalidades. Existen externalidades positivas (economías externas) y externalidades negativas (deseconomías externas). Lo esencial aquí es que quien genera una externalidad negativa no tiene que pagar por ello en un sistema de mercado y quien genera una externalidad positiva no se verá recompensado monetariamente por ello. Desgraciadamente el mercado produce demasiadas externalidades negativas y menos externalidades positivas.

Las externalidades, por lo tanto, implican intercambios involuntarios de costes o beneficios. Entonces, si las transacciones de mercado consisten en el intercambio voluntario de bienes o servicios por dinero, en el caso de una externalidad la transacción es involuntaria y se realiza fuera del mercado, es decir, las empresas o los individuos imponen costos o beneficios a otros fuera del mercado.

Los gobiernos se preocupan más por las externalidades negativas que por las positivas. Conforme nuestra sociedad se ha ido desarrollando, los efectos-difusión negativos han dejado de ser pequeñas molestias y se han convertido en grandes amenazas y es aquí donde han intervenido los gobiernos. Desde entonces uno de los objetivos del Estado es el de controlar algunas externalidades. Sin embargo, constantemente nos enfrentamos con la dificultad de encontrar la reglamentación correcta, además de que se requiere de un complejo análisis científico y económico y, de lidiar con enormes presiones políticas.

Si *Sargassum muticum* se convirtiera en una especie sujeta de explotación se estaría evitando que la especie siguiera amenazando los ecosistemas costeros del país y de esta forma se protegerían otras especies con importancia económica en la región. Esto podría ser considerado como una externalidad positiva en el mercado: sobre la función de producción de dichos recursos regionales y sobre el bienestar social en general porque se estará protegiendo un bien público, la biodiversidad.

Ahora, cuando un bien es ofrecido a otra persona y puede estar disponible para otros sin costo extra, este se describe como un bien público. Una externalidad puede ser tanto un bien o un mal público o privado.

Por otro lado, los recursos comunes están caracterizados por la *libertad de acceso*, son aquellos que cualquiera puede usar gratis porque es públicamente poseído. Esto implica que su uso y disfrute no tiene costo, pero a diferencia de los bienes públicos, en muchos casos existe la rivalidad en el consumo. El problema en este caso es que si no se aplica una regulación con respecto a su utilización, cabe el riesgo del agotamiento o desaparición de los recursos.

Un ejemplo claro de un mercado con un recurso de propiedad común es una pesquería. Si a todos se les permite pescar en un lugar en particular, entonces ninguno tiene derecho de propiedad sobre el pescado hasta que es capturado. Como resultado más pescadores tienen un incentivo de capturar más peces que si el acceso a la pesquería

estuviera restringido. De esta forma las empresas sólo prestan atención a sus costos privados (sus costos de capturar peces hoy) y no a los costos sociales (los costos privados más el efecto que el pescar hoy tiene sobre: a) otras empresas de pesca y b) la reducción de la población de peces en el futuro.

Existen formas de reducir la sobrepesca. Asignar derechos de propiedad a las pesquerías podría eliminar el problema de la externalidad, pero desafortunadamente, esta solución no es viable en la mayoría de las pesquerías del mundo. Otras opciones son el control por el gobierno a través de impuestos o con controles de cantidad directos. Por último, una opción que para opinión de algunos es menos eficiente, es la de restringir la longitud de la temporada de pesca. Tal restricción puede resultar en un mayor número de barcos estacionados sin producir durante la mayor parte del año (excesiva inversión de capital).

En contados casos ha sido posible reducir el problema permitiendo a un grupo establecer derechos de propiedad sobre toda la pesquería. Donde los derechos de propiedad están claramente asignados, los pescadores individuales toman en cuenta los verdaderos costos sociales (incluyendo el efecto de la captura actual sobre la oferta futura) eliminando los problemas de sobrepesca.

Nuestro recurso, *Sargassum muticum*, caé dentro de esta clasificación de recurso común por lo que si su explotación se convirtiera en un hecho real sería necesario encerrarlo dentro de un marco administrativo y regulatorio, que considere la información que se ha generado en esta y otras investigaciones relacionadas.